



TUGAS AKHIR - TM 091585

**INVESTIGASI PENYEBAB KERUSAKAN CHAIN
BUCKET ELEVATOR PADA 7TH FINISH MILL
TRANSPORT SYSTEM AREA DI TUBAN IV
PT. SEMEN GRESIK**

**SEBASTIANUS DWI DANUPUTRO
NRP 2110 100 121**

**Dosen Pembimbing
Ir. Witantyo M.Eng. Sc**

**JURUSAN TEKNIK MESIN
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2015**



FINAL PROJECT - TM 091585

FAILURE INVESTIGATION OF CHAIN BUCKET ELEVATOR IN 7TH FINISH MILL TRANSPORT SYSTEM AREA AT TUBAN IV PT. SEMEN GRESIK

SEBASTIANUS DWI DANUPUTRO
NRP 2110 100 121

Advisor
Ir. Witantyo M.Eng. Sc

MECHANICAL ENGINEERING DEPARTEMENT
Faculty of Industrial Technology
Sepuluh Nopember Institute of Technology
Surabaya 2015

**INVESTIGASI PENYEBAB KERUSAKAN CHAIN BUCKET
ELEVATOR PADA 7TH FINISH MILL TRANSPORT
SYSTEM AREA DI TUBAN IV PT. SEMEN GRESIK**

TUGAS AKHIR

**Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada**

**Program Studi S-1 Jurusan Teknik Mesin
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember**

Oleh :

SEBASTIANUS DWI DANUPUTRO

NRP. 2110 100 121

Disetujui oleh Pembimbing dan Penguji Tugas Akhir :

1. Ir. Witantyo, M.Eng.Sc. (Pembimbing)

(NIP: 196303141988031002)

2. Dr. Eng. Sutikno, ST., M.T. (Penguji 1)

(NIP: 197407032000031001)

3. Indra Sidharta, ST., M.Sc. (Penguji 2)

(NIP: 198006192006041004)

4. Wahyu Wijanarko, ST., M.Sc. (Penguji 3)

(NIP. 198202092012121001)

**SURABAYA
Juli, 2015**

INVESTIGASI PENYEBAB KERUSAKAN CHAIN BUCKET ELEVATOR PADA 7TH FINISH MILL TRANSPORT SYSTEM AREA DI TUBAN IV PT. SEMEN GRESIK

Nama mahasiswa : Sebastianus Dwi Danuputro
NRP : 2110 100 121
Jurusan : Teknik Mesin FTI – ITS
Dosen Pembimbing : Ir. Witantyo M.Eng. Sc

Abstrak

Realisasi produksi Finish Mill berada di bawah capaian target pada periode Oktober 2013 - Februari 2014 yang disebabkan kerusakan berulang pada chain bucket elevator. Mengatasi hal tersebut telah dilakukan pergantian chain asli BZK1200 dengan chain ER984. Namun, tidak ada evaluasi dan analisa yang telah dibuat untuk menjelaskan penyebab kerusakan tersebut.

Tugas akhir ini menganalisa penyebab kerusakan menggunakan metode Root Cause Failure Analysis (RCFA) untuk membuat desain yang lebih baik. Data pendukung berupa gambar kerusakan, downtime history, kondisi aktual operasional, dan datasheet teknik. Pengujian material dilakukan untuk memperoleh jenis material, sifat mekanik dan pola patahan.

Jenis material chain adalah low carbon manganese steel AISI 1524. Perhitungan analitis gaya menunjukkan bahwa chain hanya menerima gaya 133.106 kN, jauh di bawah batas yang diizinkan berada di bawah limit stress 1200 kN. Foto SEM pada patahan mengindikasikan terjadinya fatigue failure. Nilai kekerasan material yaitu 47.8 HRC dan nilai ketangguhan yaitu 32.046 Joule, sehingga material sangat keras tetapi getas. Struktur mikro mengindikasikan terjadinya proses heat treatment saat manufaktur.

Kata kunci : *Chain Bucket Elevator, Fatigue Failure*



FAILURE INVESTIGATION OF CHAIN BUCKET ELEVATOR IN 7TH FINISH MILL TRANSPORT SYSTEM AREA AT TUBAN IV PT. SEMEN GRESIK

Student Name : Sebastianus Dwi Danuputro
NRP : 2110100121
Department : Mechanical Eng. FTI - ITS
Student Advisor : Ir. Witantyo M.Eng. Sc

Abstract

Finish Mill production realization was below the target from October 2013 to February 2014 due to repeated failure of chain bucket elevators. Action has been taken by replacing the original chain BZK1200 with ER984. However, no evaluations and analyzes has been made to explain the cause of failure.

The study has analyzed the cause of failure that using Root Cause Failure Analysis (RCFA) method to design a better system. Supporting data are pictures of damage, downtime history, actual operational conditions, and technical datasheet. Material testing is conducted to find the material used, its mechanical properties and fracture patterns.

Material used for the chain is low carbon manganese steel AISI 1524. Analytical calculations shown that the chain only received 133.106 kN force, far below the allowable limit of 1200 kN. SEM photo of fracture indicates fatigue failure. Hardness value of the material is 47.8 HRC and the toughness value is 32.046 Joule, so the material is hard but brittle. The microstructure indicates heat treatment process while manufactured.

Keywords : *Chain Bucket Elevators, Fatigue Failure.*



KATA PENGANTAR

Puji syukur ke hadirat Tuhan Yang Maha Esa atas berkat dan rahmat-Nya sehingga tugas akhir dengan judul **“Investigasi Penyebab Kerusakan Chain Bucket Elevator pada 7th Finish Mill Transport System Area di Tuban IV PT. Semen Gresik”** ini dapat terselesaikan dengan baik.

Laporan tugas akhir ini disusun sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik (ST) pada Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknologi Industri Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Penulis mengucapkan terima kasih kepada.

1. Orang tua, Stephanus Nugroho Kristono dan Lidwina Maria Endang Bandarawati, serta kakak Kristina Andina N., dan adik Albertin Anindita Puspitarani yang telah memberikan doa dan dukungan yang begitu besar.
2. Bapak Ir. Witantyo, M.Eng.Sc selaku dosen pembimbing Tugas Akhir, yang membimbing penulis dengan penuh kesabaran .
3. Bapak Dr. Eng Sutikno ST. MT., Bapak Indra Sidharta, ST., M.Sc, dan Bapak Wahyu Wijanarko S.T.,M.Sc., selaku dosen penguji.
4. Bapak Dwi Agus, Bapak Arif selaku pihak Pemeliharaan Finish Mill 3-4 PT. Semen Gresik yang telah membantu dalam pengambilan data.
5. Bapak Kholiq, Bapak Tito, Bapak Rohmana, Ibu Dewi, Pak Ircham selaku pihak PT. Semen Gresik yang telah membantu dalam pengambilan data.
6. Segenap dosen dan karyawan Jurusan Teknik Mesin yang telah membantu penulis atas pengetahuan dan pembelajaran yang telah diberikan.
7. Dewi Fasholi Kusumaningrum yang selalu memotivasi dan menemani dengan kesabarannya.
8. Muhammad Irvan Anhar, Anita Rindiyah, Pandu Phintaru, Kharas Adri, Rosida, sebagai partner dan rekan tugas akhir di PT. Semen Gresik. Tidak lupa kepada Wahyu, Anto, Ruly, Fitroh, Eka, Chalid, Nuril, Topan, Bimo, Galang yang berjuang bersama di Lab. Sistem Manufaktur dan Laboratorium lainnya.
9. Pak Gianto, Pak Nandang, Pak Mantri, Mas Agus, Mas Hasriadi, Amirul, Gallih, Bilal, Hendra, Rizky, Esti, Puput, Yasin, Zaldy, Faisal yang telah menyediakan waktunya membantu dalam pengambilan data pengujian.

10. Teman-teman Teknik Mesin Angkatan 2010 (M53) dan Sarekat Merah Rakyat Mesin (SMRM) yang telah menemani, mengajari, dan berbagi pengalaman suka duka selama di bangku perkuliahan.
11. Semua pihak yang telah membantu atas terselesaikannya laporan tugas akhir ini.

Tidak menutup kemungkinan tugas akhir ini jauh dari sempurna maka penulis bersedia menerima kritik dan saran dari berbagai pihak untuk penyempurnaan lebih lanjut.

Penulis berharap tugas akhir ini bermanfaat, sumbangsih bagi perkembangan ilmu pengetahuan, dan penelitian selanjutnya.

Surabaya, 3 Agustus 2015

Penulis

DAFTAR ISI

LEMBAR JUDUL	
LEMBAR PENGESAHAN	
ABSTRAK	i
ABSTRACT	iii
KATA PENGANTAR.....	v
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR LAMPIRAN	xiii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah	5
1.3 Tujuan Penelitian	5
1.4 Batasan Masalah	6
1.5 Manfaat Penelitian	6
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	7
2.1 Area Finish Mill.....	7
2.1.1 Sistem Transportasi	7
2.1.2 Penggilingan Akhir.....	9
2.2 Bucket Elevator.....	10
2.3 Mekanisme Chain Bucket Elevator.....	14
2.4 Investigasi Kerusakan (<i>Failure Investigation</i>).....	15
2.5 Penelitian Terdahulu	17
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	21
3.1 Diagram Alir Penelitian	21
3.2 Metodologi Penelitian	22
3.2.1 Studi Lapangan dan Pengumpulan Data.....	22
3.2.2 Studi Literatur	22
3.2.3 Investigasi RCFA	22
3.2.3.1 <i>Findings</i>	22
3.2.3.2 <i>Diagnose</i>	22
3.2.3.3 <i>Analysis</i>	23
3.2.3.4 Conclusion and Recommendation.....	23
3.3 Bahan dan Alat Pengujian	24
3.3.1 Bentuk Spesimen Uji.....	24
3.3.2 Alat Pengujian	25
BAB IV ANALISA DAN PEMBAHASAN	29

4.1 <i>History Report</i> dan Data Kerusakan <i>Chain</i>	29
4.1.1 <i>History Report</i> Kerusakan <i>Chain</i>	29
4.1.2 Foto-foto Kerusakan <i>Chain</i>	31
4.1.3 Struktur Material <i>Chain</i>	32
4.1.4 Kondisi Aktual Operasional.....	33
4.2 Possibilitas Penyebab Kegagalan <i>Chain</i> pada <i>Bucket Elevator</i> <i>Transport System Area Finish Mill 7th</i>	34
4.3 Analisa Properti Material <i>Chain</i> Beumer	34
4.3.1 Komposisi Kimia Material dengan Pengujian <i>Optical Emission</i> <i>Spectrometry (OES)</i>	35
4.3.2 Kekerasan Material dengan Pengujian <i>Hardness</i>	36
4.3.3 Energi yang Diterima dengan Pengujian <i>Impact</i>	37
4.4 Analisa Possibilitas Penyebab Kegagalan <i>Chain</i> pada <i>Bucket Elevator</i> <i>Transport System Area Finish Mill 7th</i>	40
4.4.1 <i>Overload</i>	40
4.4.1.1 Perhitungan Pendekatan <i>Force</i> yang Teraplikasi pada <i>Chain</i> ...	41
4.4.2 <i>Fatigue</i>	44
4.4.2.1 Foto Makroskopik.....	45
4.4.2.2 Pengujian <i>Scanning Electron Microscopy</i>	48
4.4.2.3 Struktur Mikro dengan Pengujian <i>Metallography</i>	49
4.4.2 <i>Wrong Heat Treatment</i>	50
4.5 Diskusi Hasil Analisa	52
BAB V PENUTUP	55
5.1 Kesimpulan	55
5.2 Saran	55
DAFTAR PUSTAKA	57
LAMPIRAN	xv
BIODATA PENULIS	xxi

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1	Rangkaian Mesin <i>Finish Mill</i>	1
Gambar 1.2	Grafik produksi semen periode Oktober 2013-Februari 2014	2
Gambar 1.3	Frekuensi gangguan produksi di <i>Finish Mill</i> Tuban 4	3
Gambar 1.1	Durasi gangguan Produksi di <i>Finish Mill</i> Tuban 4	3
Gambar 1.5	<i>Link chain</i> putus.....	5
Gambar 2.2	<i>Clinker Transport</i> pada Plan Tuban 3	8
Gambar 2.3	<i>Cement Transport</i> Tuban	8
Gambar 2.4	Proses penggilingan akhir <i>closed</i> dan <i>open circuit</i>	9
Gambar 2.5	<i>Vertical Mill</i>	9
Gambar 2.6	Sistem <i>Bucket Elevator</i>	12
Gambar 2.6	Temperatur clinker masuk bucket elevator	14
Gambar 2.7	Struktur dasar <i>elevator chain</i>	14
Gambar 2.8	Struktur perbedaan desain <i>chain</i>	15
Gambar 2.9	Diagram alir prosedural RCFA secara umum	16
Gambar 2.10	(a) Deformasi pada link ; (b) Distribusi tegangan pada link	17
Gambar 2.11	Mekanisme kerusakan <i>chain</i> pada <i>conveyor</i>	18
Gambar 2.12	Kerusakan pada <i>strip</i> dan simulasi model	19
Gambar 2.13	Gambar hasil grafik load v/s displacement	20
Gambar 3.1	Diagram Alir Penelitian	21
Gambar 3.2	Spesimen uji standart JIS Z 2202 No.4	24
Gambar 3.3	Spesimen uji kekerasan dan komposisi kimia	24
Gambar 3.4	Spesimen uji <i>metallography</i>	25
Gambar 3.5	Spesimen uji SEM	25
Gambar 3.6	Peralatan uji <i>impact</i>	26
Gambar 3.7	Peralatan uji kekerasan	26
Gambar 3.8	<i>Optical Emission Spectroemtry Oxford Instruments</i>	27
Gambar 3.9	Mesin Grinding / Polishing.....	27
Gambar 3.10	Peralatan pengamatan struktur mikro	28
Gambar 3.11	Mesin Pengujian SEM	28

Gambar 4.1	Kondisi posisi kerusakan pada <i>Chain Bucket Elevator</i>	31
Gambar 4.2	Kerusakan pada bagian <i>outer link chain</i>	31
Gambar 4.3	Kerusakan pada bagian <i>mounting angle</i>	32
Gambar 4.4	Struktur dasar <i>chain</i> Beumer	32
Gambar 4.5	Standar operasi jarak antar <i>bushing</i>	33
Gambar 4.6	Spesifikasi <i>hardness quenched surface</i> AISI 1524H	37
Gambar 4.7	Pola patahan <i>Charpy Impact test</i>	38
Gambar 4.8	Spesimen impact test	39
Gambar 4.9	Grafik <i>impact energy versus temperature</i> dengan variasi karbon	40
Gambar 4.10	Spesifikasi <i>tensile strength chain</i> Beumer BZK 1200	42
Gambar 4.11	Drawing tebal melintang link chain dalam dan luar	43
Gambar 4.12	(a) Bentuk patahan ; (b) Analisa retakan secara umum	45
Gambar 4.13	(a) <i>Initial Fracture</i> pada <i>chain</i> ; (b) Pola patahan sisi I, (c) pola patahan sisi II	46
Gambar 4.14	(a) Pola patahan sample 1 ; (b) Pola patahan sample 2	47
Gambar 4.15	(a) <i>secondary fracture</i> pada <i>transverse fracture</i> SEM 500x; (b) pola patahan pada <i>secondary cracks</i> SEM 2000x; (c) <i>microvoid</i> SEM 5000x	48
Gambar 4.16	(a) <i>Microvoid</i> SEM 2000x ; (b) <i>Microvoid</i> SEM 5000x	49
Gambar 4.17	(a) Struktur mikro perbesaran 500x, jarak 4mm dari patahan ; (b) Struktur mikro perbesaran 500x, jarak 2mm dari patahan	49
Gambar 4.18	Struktur mikro perbesaran 500x pada lokasi patahan	50
Gambar 4.19	Struktur mikro perbesaran 500x	51

DAFTAR TABEL

Tabel 1.1	<i>Biaya Maintenance Finish Mill</i> Pabrik Tuban 1-4	2
Tabel 1.2	<i>Data sheet gangguan pada Chain Bucket Elevator 547BE01</i>	4
Tabel 2.1	<i>Material / Items transported</i>	10
Tabel 2.2	<i>Design Performance Data</i>	10
Tabel 2.3	<i>Drive Bracket</i>	11
Tabel 2.4	Variabel penyebab <i>Failure</i> pada <i>Elevator Bucket Transfer</i>	13
Tabel 4.1	Tabel histori kerusakan <i>bucket elevator 547BE1</i> tahun 2012	30
Tabel 4.2	Tabel histori kerusakan <i>bucket elevator 547BE1</i> tahun 2013	30
Tabel 4.3	Komposisi kimia <i>Chain Beumer BZK1200</i>	35
Tabel 4.4	<i>High Manganese Carbon Steel Compositions</i>	36
Tabel 4.5	Hasil pengujian <i>hardness rockwell material chain</i>	36
Tabel 4.6	Tabel hasil pengujian <i>impact</i>	38
Tabel 4.7	Spesifikasi <i>drive motor Beumer BZK 1200</i>	43
Tabel 4.8	<i>Mechanical properties Standard AISI 1524</i>	51

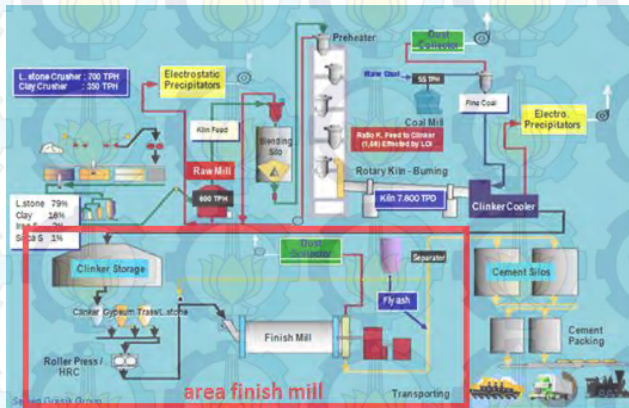


BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

PT. Semen Indonesia (Tbk) merupakan perusahaan semen nasional terbesar di Indonesia. Kota Tuban dengan potensi batu kapur nya telah dikelola oleh salah satu anak perusahaan yakni PT. Semen Gresik dengan 4 unit pabrik yang beroperasi. Gambar 1.1 menunjukkan proses produksi semen dimana batu kapur diolah sampai menjadi produk semen. Setiap pabrik semen umumnya dibagi menjadi 7 area, yaitu *area crusher*, *area raw mill*, *area kiln*, *area coal mill*, *area finish mill*, *area packer*, dan *area electrical room*.



Gambar 1.1 Rangkaian Mesin *Finish Mill* ^[1]

Gambar 1.1 juga menunjukkan kotak merah dimana proses *Finish Mill* berlangsung. *Area Finish Mill* merupakan penggilingan akhir antara *clinker*, serta bahan penolong yaitu *gypsum*, dan *trass*. Pada area ini, dimulai dari penanganan *Clinker* yang keluar dari *Cooler* dibawa oleh *Drag Bucket* (DB) menuju ke *Clinker Storage Silo*. *Clinker* dan *gypsum* atau *trass* keluar dari masing-masing Bin dengan ditimbang dahulu oleh *Weight Feeder* (WF), kemudian ditransfer ke *Belt Conveyor* (BC). Dari *Belt Conveyor* ketiga material tersebut ditransfer ke *Bucket Elevator* (BE) dan *Belt Conveyor* (BC) untuk dimasukkan ke dalam *Surge Bin* (BI). *Clinker/Gypsum Mix* keluar dari *Surge Bin* diumpankan

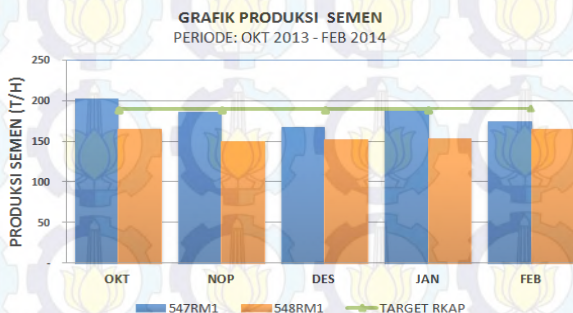
ke *Hydraulic Roller Crusher* (CR) lewat *Gate* (GA) untuk di *precrushing* sebelum digiling ke *Ball Mill*.

Saat ini biaya *maintenance* yang dikeluarkan Semen Gresik relatif lebih tinggi dibanding pabrik semen sekelasnya di dunia. Tabel 1.1 menunjukkan biaya *maintenance* yang dilakukan PT. Semen Gresik untuk area mesin *Finish Mill* selama 4 tahun terakhir. Pada tabel di bawah ini terlihat bahwa terjadi peningkatan biaya setiap tahunnya.

Tabel 1.1 Biaya *Maintenance Finish Mill* Pabrik Tuban 1-4 ^[2]

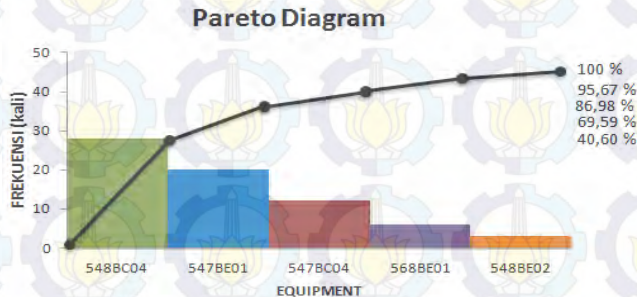
No.	Tahun	Biaya
1	2011	Rp 43.216.960.699,00
2	2012	Rp 49.980.998.799,00
3	2013	Rp 74.000.271.692,00
4	2014	Rp 93.586.115.610,00

Evaluasi terhadap hasil produksi semen di Tuban 4 dilakukan oleh manajemen Koordinator Anggaran. Berdasarkan data yang diperoleh, pada periode bulan Oktober 2013 sampai Februari 2014 realisasi produksi di *Finish Mill* Tuban 4 tidak sesuai dengan target yang telah ditentukan manajemen pada RKAP. Hal tersebut sesuai dengan data yang ditunjukkan dalam gambar 1.2. Dari grafik tersebut didapatkan kesimpulan bahwa peralatan di *Finish Mill* 547 dan *Finish Mill* 548 area penggilingan semen bekerja tidak optimal dalam menunjang proses produksi. Target yang ditetapkan oleh perusahaan rata-rata tidak tercapai.



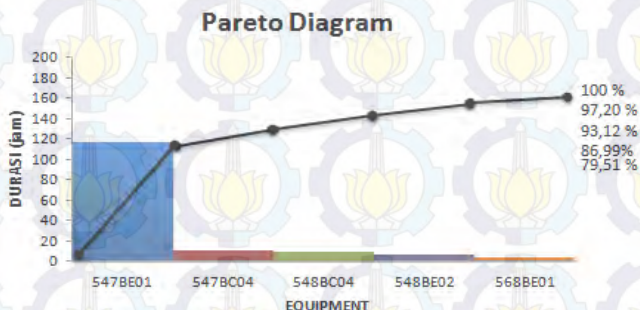
Gambar 1.2 Grafik produksi semen periode Oktober 2013-Februari 2014 ^[1]

Biro Pemeliharaan Finish Mill 4 melakukan *improvement* dalam bentuk perbaikan agar kapasitas produksi bisa kembali normal. Berdasarkan data yang diperoleh dijelaskan pada gambar 1.3 dan gambar 1.4 di bawah ini.



Gambar 1.3 Frekuensi gangguan produksi di *Finish Mill* Tuban 4 ^[1]

Grafik gambar 1.3 menjelaskan frekuensi gangguan, terlihat bahwa *Belt Conveyor* 548BC04 mempunyai frekuensi permasalahan yang terbanyak. Namun dari sisi jenis *downtime* yang terjadi, rata-rata merupakan *electrical & instrument downtime*. Sehingga jika dilihat dari *maintenance downtime*, *Chain Bucket Elevator* 547BE01 merupakan peralatan yang mengalami frekuensi gangguan terbanyak kedua yaitu sebesar 20 kali untuk periode 01 Oktober 2013 s/d 28 Februari 2014.



Gambar 1.4 Durasi gangguan Produksi di *Finish Mill* Tuban 4 ^[1]

Pada gambar 1.4 terlihat bahwa *Chain Bucket Elevator* 547BE01 merupakan peralatan yang mengalami durasi *downtime*

terbanyak sebesar 117 jam kali untuk periode 01 Oktober 2013 s/d 28 Februari 2014.

Tabel 1.2 *Data sheet gangguan pada Chain Bucket Elevator 547BE01*^[1]

NO	EQUIPMENT	FREKUENSI (kali)	DOWNTIME (jam)	CEMENT LOSS PROD (ton)	NILAI LOSS PROD (Juta)	SERVICE COST (juta)
1	Link Chain Putus	18	115,27	21901	18616	574
2	Motion Alarm	1	1,05	200	170	0
3	Ampere Maximum	1	0,68	106	90	0
	JUMLAH	20	117	22207	18876	574

Berdasarkan frekuensi gangguan pada Tabel 1.2 diperoleh bahwa *Link Chain* Putus merupakan jenis kerusakan yang mengalami frekuensi terbanyak sebesar 18 kali. Berdasarkan durasi *downtime* terlihat bahwa *Link Chain* Putus merupakan jenis kerusakan yang mengalami durasi *downtime* terbanyak sebesar 115,27 jam. Berdasarkan nilai kehilangan kesempatan produksi, terlihat bahwa *Link Chain* Putus merupakan jenis kerusakan yang menyebabkan kehilangan kesempatan produksi terbanyak sebesar 21.901 ton atau 99,0 %.5. Berdasarkan nilai *service part*, terlihat bahwa *Link Chain* Putus merupakan peralatan yang mempunyai biaya perbaikan paling besar yaitu Rp 573.909.037. Data ini diperoleh pada periode 01 Oktober 2013 s/d 28 Februari 2014.

Berdasarkan survei yang diperoleh, *chain* lebih sering terjadi kerusakan pada bagian *outer link chain* yang diikuti kerusakan pada bagian *mounting angle bucket*. Gambar terjadinya *chain* putus dapat dilihat pada gambar 1.5.



Gambar 1.5 *Link chain* putus

Tim pemeliharaan *Finish Mill* Tuban 4 telah melakukan tindakan modifikasi pada *chain*. *Chain* yang mengalami gangguan merupakan *chain* original tipe BZK1200 Beumer dan telah dilakukan pergantian dengan *chain* ER984 Rexnord. Pergantian ini didasari atas indikasi lebih baiknya *chain* yang baru karena dianggap lebih baik pada kekuatan material dan desain *mounting bucket* yang berbeda. Namun belum terdapat analisa *engineering* yang dilakukan atas pergantian *chain* ini.

1.2 Perumusan Masalah

Putusnya *chain* pada *Chain Bucket Elevator* 547BE01 terlalu sering terjadi dan tidak wajar. Adapun rumusan permasalahan pada tugas akhir ini adalah mencari penyebabnya dan menyarankan metode untuk mencegah atau memperlambat kerusakan.

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan penelitian ini berdasarkan rumusan masalah di atas adalah sebagai berikut:

1. Menganalisa penyebab putusnya *chain* pada *Chain Bucket Elevator* sehingga diperoleh akar permasalahannya.
2. Menemukan solusi yang tepat untuk merancang *chain* yang lebih baik pada *Chain Bucket Elevator*.

1.4 Batasan Masalah

Batasan masalah yang diberlakukan agar tugas akhir ini dapat berjalan secara fokus dan terarah serta dapat mencapai tujuan adalah sebagai berikut:

1. Data yang digunakan adalah data *Performance* dan *Downtime* yang diambil pada Januari 2011 – Desember 2014

1.5 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dari penelitian tugas akhir ini adalah :

1. Dapat mengetahui penyebab kemiringan dan putusya *chain* pada *Equipment Elevator Bucket Transfer*.
2. Dapat memberikan solusi kepada pihak Pemeliharaan Pabrik Tuban 3 & 4 *Finish Mill* PT. Semen Gresik mengenai permasalahan diatas.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Area Finish Mill

Finish Mill/penggilingan akhir adalah sebuah proses menggiling bersama antara terak dengan 3% - 5% *gypsum natural* atau sintetis (untuk pengendalian setting dinamakan *retarder*) dan beberapa jenis aditif (pozzolan, slag, dan batu kapur) yang ditambahkan dalam jumlah tertentu, selama memenuhi kualitas dan spesifikasi semen yang dipersyaratkan, diperlukan daya 30 – 60 kWh/ton *clinker*. Unit penggilingan semen dibagi menjadi 2 bagian, yaitu :

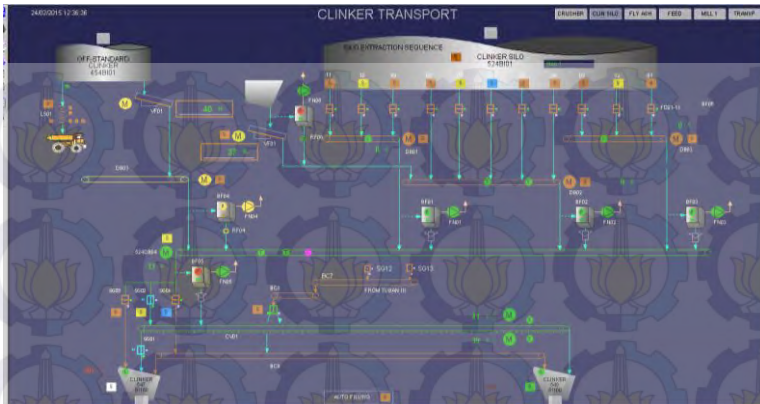
1. *Transportation System* dan Penggilingan Bahan Penolong
2. Penggilingan Akhir.

2.1.1 Sistem Transportasi

Sistem transportasi pada *Area Finish Mill* dibutuhkan untuk mengumpulkan berbagai macam bahan penolong untuk digiling dengan *clinker* di *cement mill*. Alat transportasi material, terdiri dari :

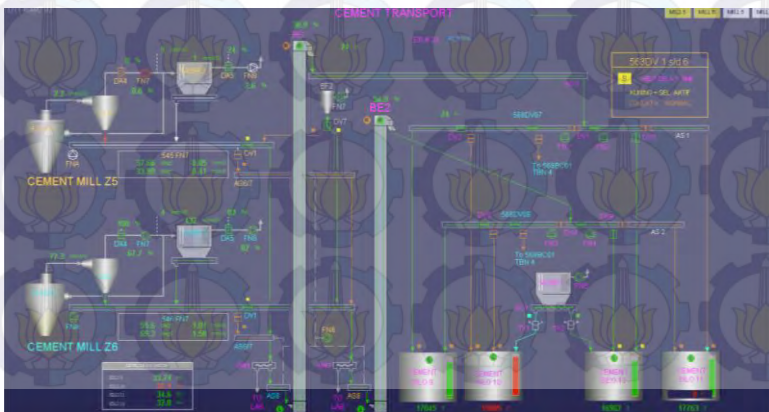
- a. *Belt conveyor*.
- b. *Screw conveyor (horizontal, vertical)*.
- c. *Bucket elevator (chain bucket, belt bucket)*.
- d. *Air slide, aeroslide, fluxoslide (pneumatic conveying)*.

Clinker Storage Silo mempunyai lubang pengeluaran 10 buah, setiap pengeluaran dilengkapi dengan discharge gate. Dimana masing-masing *gate* menarik *clinker* dengan laju alir 250 – 275 Ton / Jam. *Clinker* keluar dari *Clinker Storage* diumpankan ke tiga *Belt Conveyor* (BC). Dari sini terjadi pencampuran *Clinker* mentah dengan *clinker* dari penimbunan, kemudian ditransfer ke *Belt Conveyor* (BC). Dengan menggunakan *Bucket Elevator* (BE) campuran material tersebut dibawa ke *Bin Clinker* (BI) dan *Bucket Elevator* (BE) material dibawa ke *Bin Clinker* (BI) dengan kapasitas 175 ton. Sistem proses ini dapat dilihat pada gambar 2.1.



Gambar 2.1 Clinker Transport pada Plan Tuban 3 ^[3]

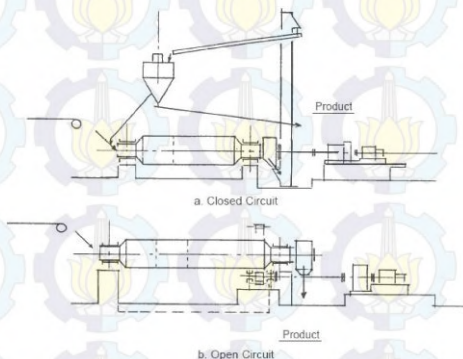
Pada gambar 2.1 dapat dilihat *Gypsum*, *trass* dan batu kapur sebagai bahan penolong disimpan dalam *storage* yang terpisah, sedangkan *flyash* diambil dari *power plant* disimpan dalam sebuah bin dekat dengan *Finish Mill*. Setelah *gypsum*, batu kapur/*trass* digiling di *crusher* kemudian dipindahkan melalui *belt conveyor* ke *bucket elevator*. Bin untuk kedua material mampu menyimpan 175 ton. Setelah itu diumpungkan dengan *weight feeder* untuk digiling di dalam *finish mill*. Sistem transport juga digunakan setelah proses milling untuk transfer semen ke silo. Sistem ini dapat dilihat pada gambar 2.2.



Gambar 2.2 Cement Transport Tuban ^[3]

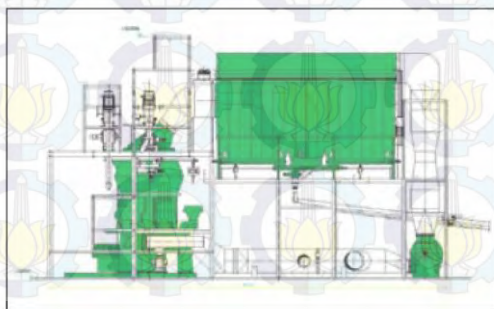
2.1.2 Penggilingan Akhir

Proses penggilingan terak secara garis besar dibagi menjadi sistem penggilingan *open circuit* dan *closed circuit*. Gambar 2.3 (a) di bawah menunjukkan *closed circuit* dan gambar 2.3 (b) menunjukkan *open circuit*. Dalam *open circuit* panjang *shell* sekitar 4 – 5 kali dari diameter untuk mendapatkan kehalusan yang diinginkan. Sedangkan dalam *closed circuit* panjang *shell* sekitar 3 kali diameter untuk mempercepat produk yang lewat.



Gambar 2.3 Proses penggilingan akhir *closed* dan *open circuit* ^[4]

Horizontal Tube Mill/Ball Mill adalah peralatan giling yang sering dijumpai di berbagai industri semen, meskipun sekarang sudah mulai dijumpai *vertical mill* untuk menggiling terak menjadi semen seperti pada gambar 2.4. *Vertical mill* sudah digunakan di plan Tuban 4.



Gambar 2.4 *Vertical Mill* ^[4]

2.2 *Bucket Elevator*

Bucket Elevator merupakan sebuah mesin pesawat pemindah bahan yang berguna untuk memindahkan suatu bahan material dari tempat yang rendah ke tempat yang lebih tinggi. Pada kasus ini penulis akan menganalisa *bucket elevator* di PT. Semen Gresik yang merupakan tipe *Central Chain Bucket Elevator* produksi perusahaan Beumer asal Germany.

Spesifikasi teknik dari tipe *Bucket Elevator* yang dimaksud dijelaskan pada ketiga tabel di bawah ini :

Tabel 2.1 *Material / Items transported* ^[5]

Designation	Data
Material/items transported	Clinker
Density of the material transported	1.20 t/m ³
Grain size	max. 50 mm
Material temperature	max. 110 °C
Moisture of material	5 %

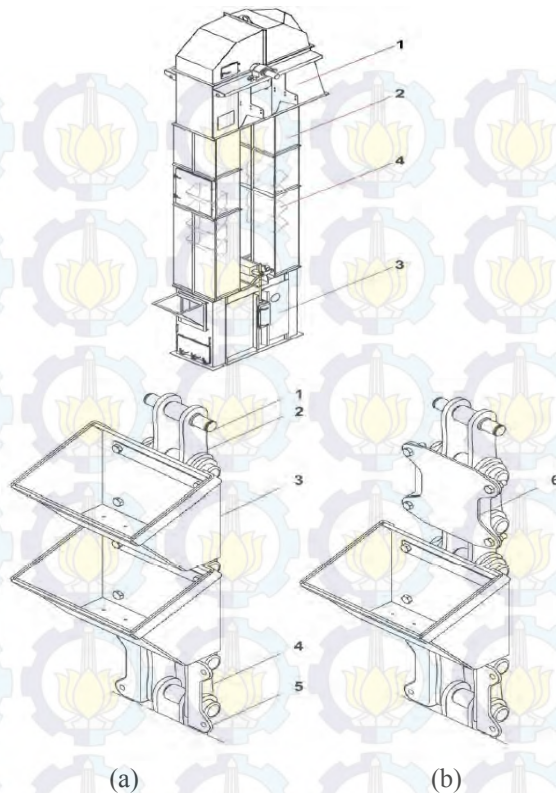
Tabel 2.2 *Design Performance Data* ^[5]

Designation	Data
Centre distance	42,600 mm
Bucket width	630 mm
Bucket spacing	360 mm
Bucket filling level	71 %
Conveying speed	1.62 m/s
Chain	BZK 1200 W
Conveying capacity	333 m ³ /h
Conveying capacity	400 t/h
Installed power	approx. 90 kW
Noise emission	

Tabel 2.3 *Drive Bracket* ^[5]

Designation	Data
Drive motor	Siemens
Motor type	1LG4 283-4AA
Rated power	90 kW
Rated speed	1,500 min ⁻¹
Rated current	—A
Drive shaft	ø 75 mm
Type of construction	IM B3
Fluid coupling	Voith
Coupling type	487TV+EEK225M
Bore diameter	ø 75 / 70 mm
Fusible safety plug	160 °C green
Thermal circuit element	140 °C red
Safety switch	MTS
Gear unit	SEW
Type of gear unit	X3KS180
Rated power	200 kW
Drive shaft / output shaft	ø 70 / 170 mm
Gear ratio	50
Output speed	30 min ⁻¹
Auxiliary drive unit	SEW
Motor type	KF77DV100L4-C
Rated power	3 kW
Flexible coupling	Flender
Coupling type	N-EUPEX
Bore hole coupling part / cam part	ø 170 / 160 mm

Bucket elevator yang digunakan adalah transportasi vertikal suatu material. Material dialirkan melalui *belt conveyor* menuju *inlet* masuk. Material jatuh ke dalam dan dijemput oleh *bucket*. Material pada *bucket* akan dijatuhkan seketika pada saat sudah sampai di *head bucket* dan keluar ke dalam saluran pembuangan. *Central Chain* digunakan sebagai elemen traksi untuk ember. *Chain link* terhubung satu sama lain. *Mounting angle* dipasang di sisi luar *chain*. Setiap ember dipasang pada *spacer plate* dengan jarak dua baut setiap embernnya. *Bucket elevator* terdiri dari beberapa bagian utama dijelaskan pada gambar 2.5 di bawah.



Keterangan (a) : (1) Bucket elevator head ; (2) Shaft casing ; (3) Bucket elevator boot ; (4) Traction element with buckets

Keterangan (b) : (1) Bolt ; (2) Roller link plate ; (3) Bucket ; (4) Outer link plate ; (5) Mounting angle ; (6) Spacer plate

Gambar 2.5 Sistem Bucket Elevator^[5]

Elevator Bucket Transfer yang terdapat di PT. Semen Gresik memiliki pola operasi secara kontinu. Adapun secara terjadwal *downtime* yang dilakukan untuk *maintenance* secara rutin adalah minimal satu kali dalam sebulan. Penyebab terjadinya *downtime* yang tidak terjadwal pada *Elevator Bucket Transfer* tentunya disebabkan berbagai macam variabel. Berbagai variabel penyebab tersebut yaitu :

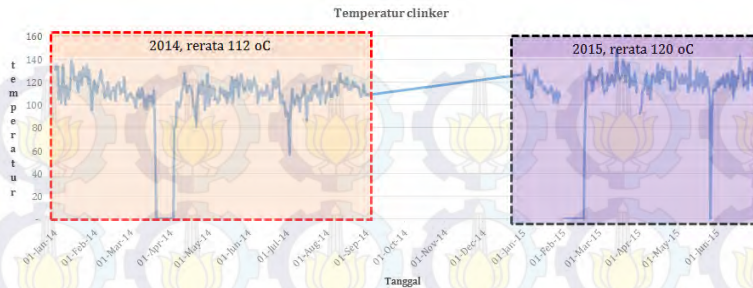
1. *Chain* lepas adalah kondisi terlepasnya *chain* dari *sprocket*.
2. *Chain* putus adalah kondisi terjadinya putus atau patah pada struktur *chain*.
3. *Traction motor* adalah kondisi terangkatnya poros *sprocket* bawah, karena ketidakmampuan bantalan menahan beban.
4. *Timba* adalah terjadinya kerusakan pada ember atau *bucket*, baik kerusakan material atau keausan yang terjadi.
5. *Outlet* buntu adalah terjadinya penumpukan material yang *adhesive* pada bagian *outlet* sehingga material yang diangkut tidak dapat keluar.
6. *Overload* adalah terjadinya kelebihan beban pada motor yang diindikasikan oleh sensor ampere sehingga menyebabkan ketidakmampuan motor bergerak.
7. *Coupling* adalah terjadinya pecah *coupling* *omega* pada motor.

Berdasarkan tabel 2.4 di bawah, penulis melakukan pengolahan data total waktu *downtime* untuk seluruh *Bucket elevator* Tuban 1-4 yang dilakukan selama tahun 2011-2014. Penulis menemukan bahwa faktor penyebab *downtime* terbesar adalah adanya kerusakan pada sistem *chain*.

Tabel 2.4 Variabel penyebab *Failure* pada *Elevator Bucket Transfer* ^[2]

No.	Penyebab	Frekuensi	Downtime (Jam)
1	Chain Lepas	193	1097.65
2	Chain Putus	39	416.09
3	Traction Motor	63	301.66
4	Timba	41	143.83
5	Outlet Buntu	20	82.6
6	Overload	5	22.5
7	Coupling	4	18.433

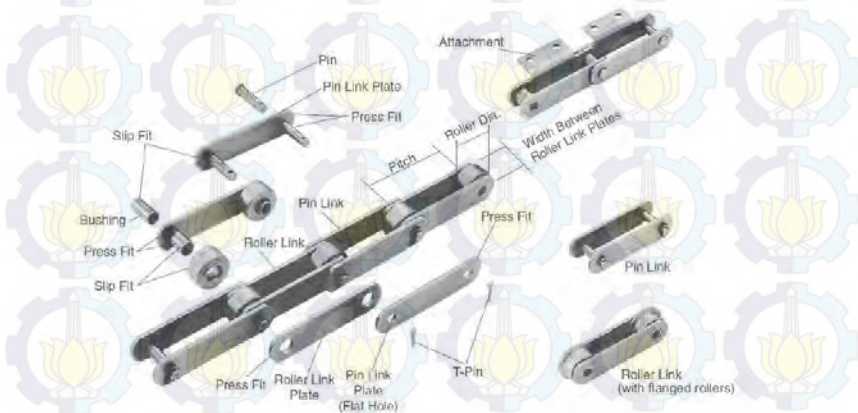
Indikator suhu clinker tepat sebelum masuk ke dalam bucket elevator menunjukkan temperatur yang fluktuatif. Temperatur clinker ini berada pada rata-rata 112°C dari seluruh data tahun 2014 dan 120°C pada tahun 2015. Grafik fluktuatif temperatur pada gambar 2.6 di bawah ini.



Gambar 2.6 Temperatur clinker masuk bucket elevator [2]

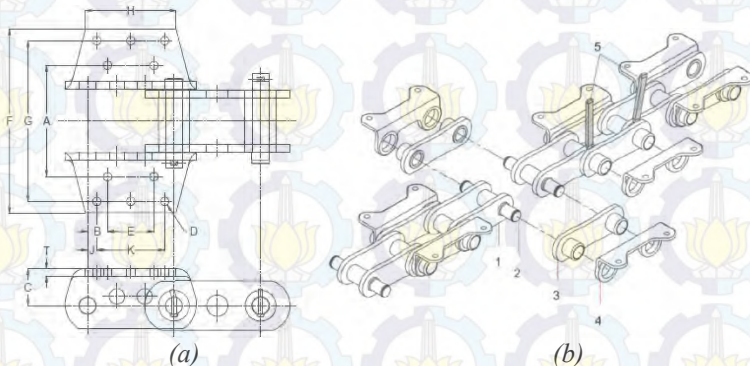
2.3 Mekanisme Chain Bucket Elevator

Roller rantai pada *elevator* berbeda dari transmisi *roller* rantai seperti pada sebuah rantai sepeda, yang digunakan untuk mentransfer torsi bukan mentransfer barang. Rantai *elevator* memiliki *pitch* besar yang efisien dalam menjembatani jarak jauh. Rantai umumnya memiliki tebal plat sampeng dan rol dengan diameter besar. Oleh karena itu rantai ini dapat menahan kekuatan tarik dan *shock* beban yang lebih tinggi daripada rantai transmisi. Selain itu desain rantai *elevator* seharusnya memiliki *lifetime* yang tinggi. Namun di sisi lain, rantai *elevator* akan lebih mudah terkontaminasi dengan partikel dari bahan yang ditransfer, dengan kata lain bersifat *adhesive* dan *abrasive*.



Gambar 2.7 Struktur dasar *elevator chain* [6]

Rantai konveyor dibangun dengan dua jenis bagian: *roller link* (atau link batin) dan *pen link* (atau link luar), lihat gambar 2.7. *Roller link* terdiri dari dua *bushing* baja yang suaian pas dengan dalam *roller*, sementara *pen link* terdiri dari dua pen baja yang suaian pas dengan bagian dalam *bushing*. Untuk memasang *plate* dan *pen*, dipasanglah t-pen (seperti yang ditunjukkan). Rantai *elevator* dapat difungsikan dengan dua cara: *Attachment* sebagai *mounting* untuk pemasangan ember dapat diterapkan pada sisi *plate* yaitu dengan modifikasi yang terhubung ke sisi *plate*, lihat gambar 2.8 (a). Untuk modifikasi cara kedua adalah penambahan *plate* secara terpisah yang disatukan pada pen, lihat gambar 2.8 (b). Rol mentransfer tegangan normal, karena berat ember ke trek. Sproket memberikan gaya saat mekanisme untuk menarik beban, akan berdampak pada kekuatan tarik rantai yang harus cukup besar dan mampu mengatasi gesekan geser antara *roller bushing* dan *rolling friction* antara roller/track. Selain itu mekanisme oleh *sprockets* akan mengakibatkan peningkatan kekuatan tarik. Untuk mentransfer kekuatan tarik ini dari bagian satu dan yang lain, *bushing* dan pen akan berperan bersama-sama sebagai bantalan



Keterangan : (a) Mounting langsung pada *plate* ; (b) *Mounting plate* tambahan

Gambar 2.8 Struktur perbedaan desain *chain* ^[6]

2.1 Investigasi Kerusakan (*Failure Investigation*)

Analisis kegagalan atau investigasi kerusakan adalah langkah-langkah pemeriksaan kegagalan atau kerusakan pada suatu komponen yang mencakup kondisi komponen tersebut, situasi dan kondisi

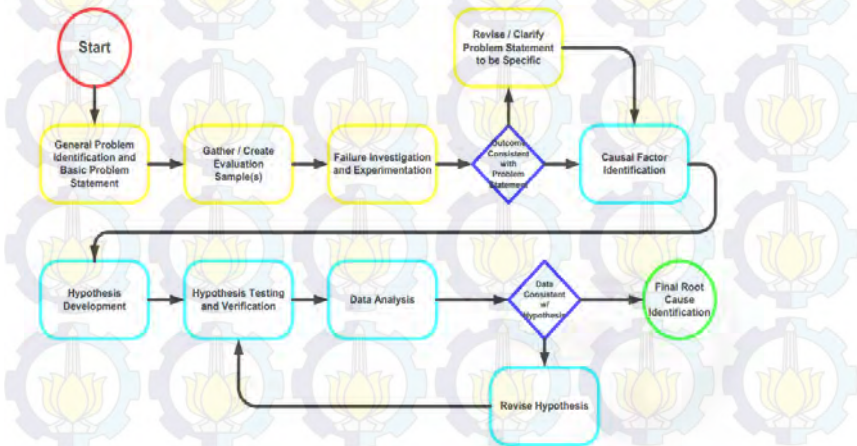
lingkungan operasional dari komponen tersebut, sehingga dapat diketahui atau ditentukan penyebab dari kegagalan atau kerusakan yang terjadi pada komponen tersebut. Analisis kegagalan mempunyai tujuan sebagai berikut:

- Menentukan penyebab utama kegagalan komponen tersebut
- Meminimalisasi terjadinya kegagalan yang sama pada masa mendatang
- Sebagai rujukan teknis mengenai permasalahan dengan kondisi yang sama atau proses sama

Investigasi kerusakan atau kegagalan memakai metode *Root Cause Failure Analysis* (RCFA) guna memudahkan penyelesaian terhadap permasalahan yang dihadapi. Prosedural RCFA secara umum sebagai berikut :

1. *General problem identification*
2. *Gather samples*
3. *Causal identification*
4. *Hypothesis development*
5. *Hypothesis testing*
6. *Root cause identification/map*
7. *Conclusion and solution*

Berikut gambar 2.9 adalah *flowchart procedural root cause failure* guna memudahkan penyelesaian terhadap permasalahan yang dihadapi :



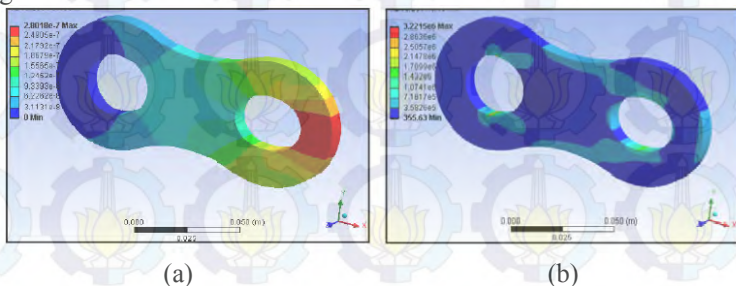
Gambar 2.9 Diagram alir prosedural RCFA secara umum ^[7]

2.5 Penelitian Terdahulu

Berbagai penelitian terdahulu yang pernah dilakukan mengenai *chain analysis* antara lain:

1. *FAE Based Study of Effect of Radial Variation of Outer Link in A Typical Roller Chain Link Assembly* - Bhoite T., Pawar p., Gaikwad B – *IJMIE*, 2012 ^[8]

Chain Link Assembly secara luas digunakan dalam industri. Lingkup makalah ini adalah *review* aplikasi dalam industri dan menjelajahi pertimbangan desain yang masuk ke dalam desain perakitan. Pada jurnal ini telah menggali berbagai aplikasi aspek manufaktur untuk merumuskan ide atau desain dari sistem. FEA digunakan untuk melakukan optimasi bentuk desain. Model FEA terdiri dari model rantai, *preprocessing*, *processing*, *post processing* dengan menggunakan ANSYS Workbench 12.0 seperti pada gambar 2.10

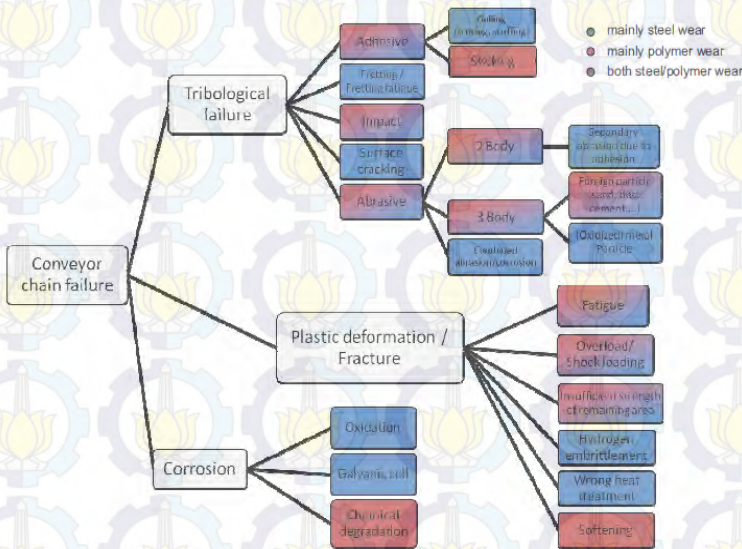


Gambar 2.10 (a) Deformasi pada link ; (b) Distribusi tegangan pada link ^[8]

2. *Wear of Conveyor Chains With Polymer Rollers* – Kerremans, 2011 ⁽⁹⁾

Rantai konveyor dengan rol polimer digunakan secara luas pada saat ini, terutama karena mampu bekerja tanpa pelumasan apapun dan memiliki ketahanan korosi yang baik. Dari studi kontak mekanik rantai, kontak geser antara *roller bushing* dengan *rolling contact* antara *roller* dan *trek* merupakan daerah kritis. Rantai konveyor dengan rol polimer diharapkan *adhesive wear*, *abrasive wear*, tahan impact dan tahan pada perlakuan panas. Uji rig yang ditemukan tidak cocok untuk memakai rol polimer pada rantai konveyor. Oleh karena itu uji-rig yang baru dirancang. Kendala desain untuk beban normal dan menyampaikan kecepatan Diperoleh

dari batas kecepatan tekanan polimer yang sering digunakan. Batas beban rantai digunakan untuk menentukan kekuatan tarik dalam rantai. Eksperimen yang dilakukan pada rig tes ini akan memberikan hasil yang lebih baik pada mekanisme keausan yang terjadi dalam aplikasi nyata konveyor. Eksperimen ini menghasilkan suatu analisa *root cause failure* pada *conveyor*, dijelaskan pada gambar 2.11.



Gambar 2.11 Mekanisme kerusakan *chain* pada *conveyor* ^[9]

3. *Study of roller conveyor chain strip under tensile loading* - Srđan M Bosnjaka, Miodrag A Arsic, Nenad. Zernic, Zoran D Odanovic, Milos. Dordevic, 2011. ^[10]

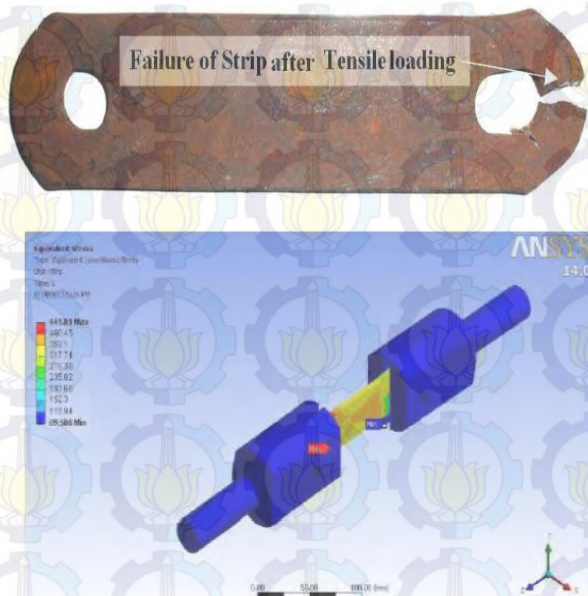
Mengetahui mekanisme yang terjadi di rantai konveyor sebagai tujuan pengujian, EN353 sebagai bahan model yang digunakan dengan ukuran 55 x 150 x 10 mm. Review dari makalah ini menunjukkan bahwa *sample* model diuji kekuatan tarik pada mesin uji universal. Kelelahan awalnya berinti di celah eksternal *link* jaringan dan kemudian diterapkan ke dalam *link* hingga patah secara tiba-tiba terjadi. Membandingkan hasil analisis,

eksperimental dan numerik yang ada, dan disimpulkan bahwa dari tiap hasil ketiga metode tersebut + /-10% atas perbedaan hasilnya.

Hal ini menunjukkan bahwa, strip aman di bawah kondisi beban kerja maksimum. *Roller chain drive* dapat dilakukan untuk semua beban tarik, dengan demikian *roller* rantai harus memiliki beberapa properti tarik beban untuk menahan berbagai macam tarik beban pula. Secara analisis perhitungan yang digunakan :

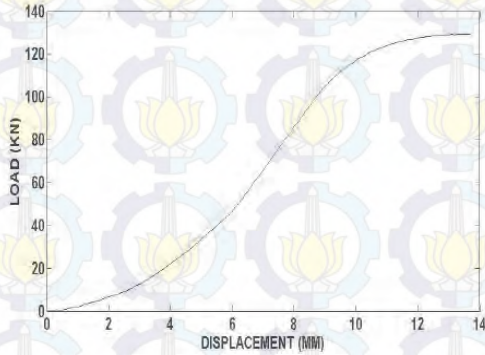
$$\text{Working stress} = \frac{\text{Maximum stress}}{\text{Factor of safety}} \quad \text{Working stress} = \frac{\text{Working Load}}{\text{Resisting Area}}$$

Secara numerik dilakukan pembuatan model simulasi pada strip dengan menggunakan *software* contoh model pada gambar 2.12.



Gambar 2.12 Kerusakan pada *strip* dan simulasi model ^[10]

Gambar 2.13 di bawah ini merupakan hasil representasi grafis dari beban (kg) perpendahan (mm) jaringan strip untuk kekuatan tarik strip, percobaan dilakukan pada mesin tarik universal.



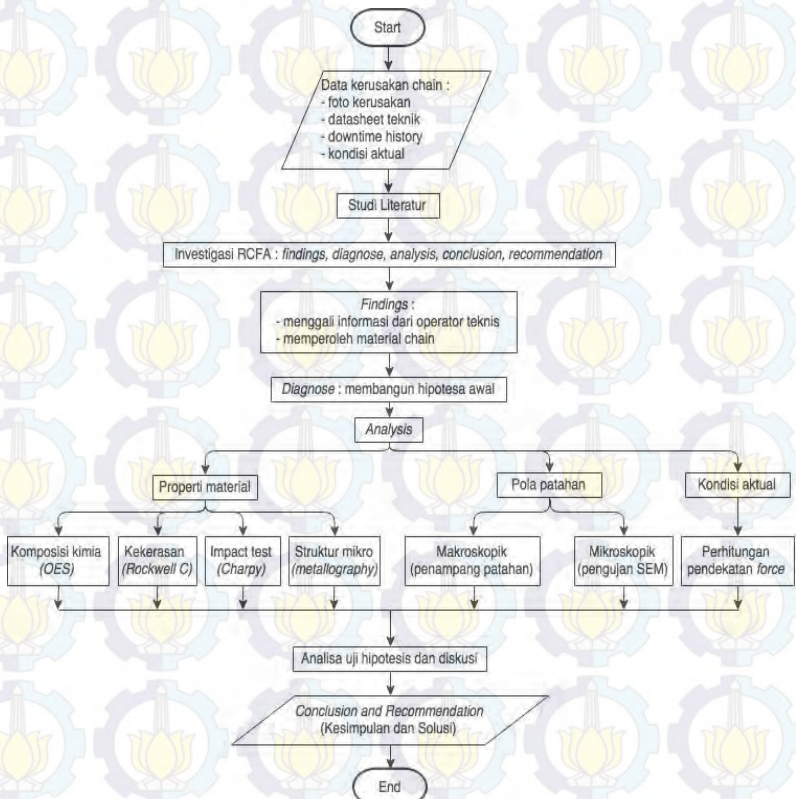
Gambar 2.13 Gambar hasil grafik *load v/s displacement* ^[10]

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Diagram Alir Penelitian

Penelitian tugas akhir ini akan melalui tahapan-tahapan yang diawali dari studi lapangan mengenai permasalahan yang diteliti, kemudian dilakukan pengumpulan data-data yang mendukung, melakukan studi literatur, melakukan investigasi *Root Cause Failure Analysis*, dan di bagian akhir melakukan penarikan kesimpulan dan rekomendasi. Diagram alir pada gambar 3.1 di bawah.



Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

3.2 Metodologi Penelitian

3.2.1. Studi Lapangan dan Pengumpulan Data

Penulis melakukan studi lapangan yaitu melihat area unit Pemeliharaan Mesin Finish Mill Tuban 3 & 4, sedangkan data diperoleh dari “*Performance and Downtime Report*” pihak Koordinator Anggaran Semen Gresik. Data-data yang dibutuhkan sebagai acuan untuk mengidentifikasi masalah kerusakan pada *Elevator Bucket Transfer* adalah sebagai berikut :

1. Foto kerusakan *chain* pada *Elevator Bucket Transfer*
2. *Datasheet* teknik *Elevator Bucket Transfer*
3. *Downtime History*
4. Kondisi aktual operasional
5. Standar operasi prosedur Regu Pemeliharaan *Finish Mill 3 & 4*

3.2.2. Studi Literatur

Literatur yang dijadikan pedoman oleh penulis bersumber dari pihak Koordinator Anggaran Semen Gresik dan Regu Pemeliharaan *Finish Mill* Tuban 3-4. Literatur tersebut antara lain :

1. Data desain dan gambar teknik dari regu pemeliharaan unit *Finish Mill* Tuban 3-4
2. Standar operasi prosedur regu pemeliharaan unit *Finish Mill* Tuban 3-4
3. Sumber penunjang berupa buku atau jurnal yang dirasa perlu.

3.2.3. Investigasi RCFA

3.2.3.1 Findings

Penulis melakukan *Findings* dengan menggali informasi dari operator dan memperoleh material *chain* yang mengalami kerusakan. Penulis melihat secara langsung bentuk *failure* yang terjadi pada *chain* di lapangan dan melakukan survey kepada pihak teknisi terkait.

3.2.3.2 Diagnose

Diagnose atau melakukan hipotesis awal/sementara mengenai penyebab kerusakan yang terjadi pada *Elevator Bucket Transfer*. Berdasarkan tinjauan pustaka yang dilakukan, diperoleh hasil hipotesis antara lain :

1. *Overload* : *overload* merupakan keadaan ketika beban yang diterima melebihi beban maksimum yang diizinkan atau diatas *yield strength*. Ketika beban diterima berlebih menyebabkan deformasi

pada struktur material maka hal ini dapat menyebabkan *fracture* ketika sudah mencapai titik puncak atau *ultimate strength*.

2. *Fatigue* atau kelelahan adalah bentuk dari kegagalan yang terjadi pada struktur karena beban dinamik yang berfluktuasi dibawah *yield strength* yang terjadi dalam waktu yang lama dan berulang-ulang. Terdapat 3 fase dalam kelelahan yaitu permulaan retak, penyebaran retak, dan patah. Mekanisme dari permulaan retak umumnya dimulai dari *crack initiation* yang terjadi di permukaan material yang lemah atau daerah dimana terjadi konsentrasi tegangan di permukaan.
3. *Wrong Heat Treatment* : *heat treatment* merupakan proses perlakuan temperatur pada proses *manufacturing* untuk mencapai sifat material yang diinginkan. Hal ini memungkinkan terjadinya kesalahan proses yang dapat menyebabkan ketidaksesuaian sifat material dengan kondisi aktual kebutuhan baik dari nilai kekerasan, ketangguhan, kekuatan, dan sebagainya.

3.2.3.3 Analysis

Penulis melakukan tahap *analysis* yaitu *hypothesis testing* dan *root cause identification/map* untuk mengidentifikasi akar masalah dan menganalisa hipotesis awal. Tahapan yang dilakukan adalah :

1. Melakukan uji properti material *chain* original tipe BZK1200 Beumer. Hal ini meliputi pengujian kekerasan, impact, komposisi kimia, dan struktur mikro.
2. Melakukan uji pola patahan pada material *chain* original tipe BZK1200 Beumer. Hal ini dilakukan untuk mengetahui pola patahan secara makroskopik dengan melihat penampang patahan dan secara mikroskopik dengan pengujian SEM.
3. Melakukan perhitungan analisis kekuatan *chain* sesuai dengan kondisi aktual mekanisme kerja gaya yang terjadi.

3.2.3.4 Conclusion and Recommendation

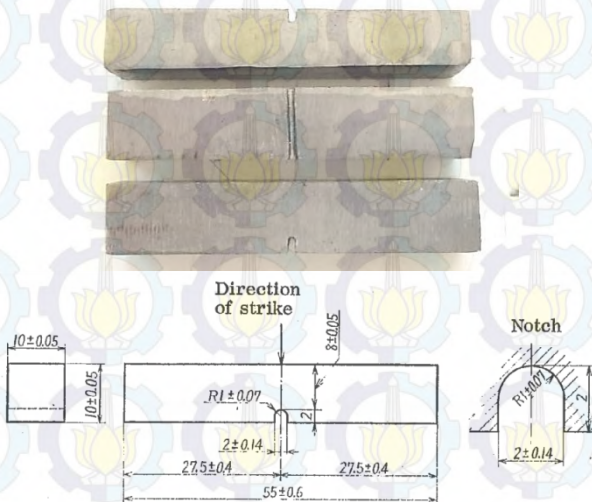
Pada tahap ini merupakan langkah akhir dalam penelitian tugas akhir yang menyajikan informasi mengenai kesimpulan yang didapat berdasar analisa dan simulasi sehingga dapat memberikan solusi yang tepat, dan efektif kepada pihak PT. Semen Gresik (Pabrik Tuban) perihal topik yang diangkat.

3.3 Bahan dan Alat Pengujian

3.3.1 Bentuk Spesimen Uji

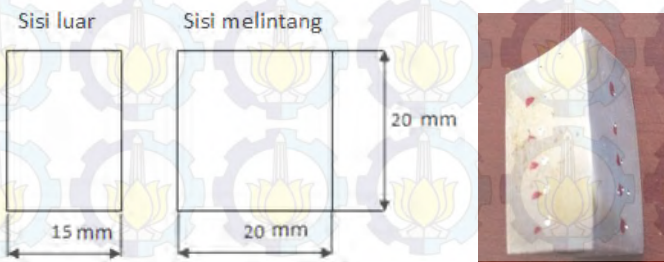
Bentuk spesimen uji yang dilakukan untuk pengujian *hardness*, *impact*, *optical electron spectrometry*, *metallography*, dan *SEM* adalah sebagai berikut :

1. Spesimen uji *impact* dengan standart JIS Z 2202 No. 3 dengan *U-notch* seperti pada gambar 3.2.



Gambar 3.2 Spesimen uji standart JIS Z 2202 No.4 ^[20]

2. Spesimen uji kekerasan dan komposisi kimia memiliki bentuk dimensi sebagai berikut pada gambar 3.3.



Gambar 3.3 Spesimen uji kekerasan dan komposisi kimia

3. Spesimen uji *metallography* merupakan potongan melintang pada bagian yang patah pada *chain* seperti pada gambar 3.4.



Gambar 3.4 Spesimen uji *metallography*

4. Spesimen uji *Scanning Electron Microscopy* merupakan permukaan pada bagian patahan *chain* seperti pada gambar 3.5.



Gambar 3.5 Spesimen uji SEM

3.3.2 Alat Pengujian

Alat pengujian yang digunakan untuk *hardness*, *impact*, *optical electron spectrometry*, *metallography*, dan *SEM* adalah sebagai berikut :

1. Mesin uji *impact* yang digunakan adalah Karl Frank GMBH tipe 580M dengan kapasitas 30 Kpm yang berada di jurusan teknik Mesin ITS, seperti pada gambar 3.6.



Gambar 3.6 Peralatan uji *impact*

2. Mesin uji kekerasan yang digunakan dalam penelitian adalah milik laboratorium Metallurgi Jurusan Teknik Mesin ITS Surabaya. Mesin yang digunakan adalah mesin Frank Rockwell-C seperti pada gambar 3.7. Properti pengujian adalah indenter 120° , kerucut intan, skala hitam, beban 150 KP.



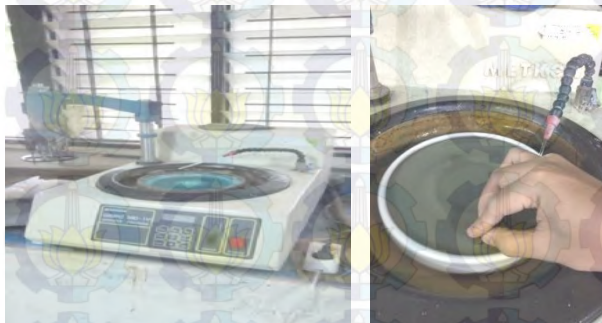
Gambar 3.7 Peralatan uji kekerasan

3. Pengujian *Optical Emission Spectrometry* ini menggunakan alat OES *Oxford Instruments* yang mampu menganalisa 28 jenis unsur yang terkandung pada material, seperti pada gambar 3.8.



Gambar 3.8 *Optical Emission Spectroemtry Oxford Instruments*

4. Pengujian *metallography* dilakukan pertama menggunakan peralatan *grinding* dan *polishing*. Peralatan ini digunakan untuk membuat permukaan spesimen rata, sehingga dapat digunakan untuk pengamatan struktur mikro maupun struktur makro. Proses ini berlangsung secara bertahap menggunakan kertas gosok dengan tingkat *grid* tertentu dengan dialiri air sampai permukaan spesimen tersebut halus. Sedangkan *polishing* menggunakan kain wol yang ditaburi bubuk alumina dan dialiri air sampai permukaan spesimen lebih halus lagi, seperti pada gambar 3.9.



Gambar 3.9 *Mesin Grinding / Polishing*

Proses etsa dilakukan dengan maksud untuk menkorosikan bagian permukaan spesimen sehingga struktur mikro spesimen dapat dilihat. Pada proses etsa ini etching reagent yang digunakan

adalah larutan “nital” yang merupakan campuran antara alkohol sebanyak 98% volume dengan asam nitrat sebanyak 2% volume.

Pengamatan struktur mikro dilakukan di laboratorium metalurgi dimana peralatan yang digunakan adalah mikroskop, kamera digital, dan satu unit komputer. Gambar struktur mikro yang diperoleh dari mikroskop dikirim ke *digital still recorder* melalui kamera. Gambar ini kemudian direkam oleh *digital still recorder* kemudian disimpan oleh komputer dalam bentuk *file*. Dengan peralatan ini dapat dilakukan pengamatan dengan pembesaran 100X sampai dengan 1000X sesuai dengan kebutuhan. Gambar 3.10 di bawah ini menampilkan peralatan yang digunakan.



Gambar 3.10 Peralatan pengamatan struktur mikro

5. Pengujian Scanning Electron Microscopy dilakukan di laboratorium Jurusan Teknik Material Metalurgi ITS. Peralatan yang digunakan adalah mesin SEM Inspect S50 FEI seperti pada gambar 3.11 di bawah.



Gambar 3.11 Mesin Pengujian SEM

BAB IV

ANALISA DAN PEMBAHASAN

Bab ini akan membahas mengenai kemungkinan penyebab kegagalan yang dapat memicu terjadinya *failure chain* pada *bucket elevator* di PT. Semen Gresik. *Bucket elevator* merupakan unit yang sangat vital pada area *finish mill*. *Clinker* hasil pengolahan kiln yang disimpan pada *silo clinker* kemudian dibawa ke *vertical finish mill* yang memiliki *intake* pada ketinggian tertentu sehingga diperlukan *bucket elevator*. Ketika terjadi gangguan pada *bucket elevator* maka akan terganggu aliran *clinker* yang akan masuk ke dalam *finish mill*.

Analisa penyebab kerusakan dilakukan dengan mengacu kepada kondisi operasional, histori, foto kerusakan, dan informasi penunjang lainnya yang didapatkan dari pihak PT. Semen Gresik. Setelah itu dilakukan hipotesis dan pengujian untuk memperoleh data yang dapat membantu untuk menemukan akar penyebab kerusakan.

4.1 *History Report* dan Data Kerusakan *Chain*

Data – data yang didapatkan, sehingga menjadi dasar acuan atau referensi dalam mengidentifikasi penyebab terjadinya kerusakan *chain* pada *bucket elevator transport system area finish mill 7th*, adalah sebagai berikut :

1. *History Report* Kerusakan
2. Foto – foto kerusakan *Chain*
3. Struktur Material *Chain*
4. Kondisi Aktual Operasional

4.1.1 *History Report* Kerusakan

Tabel 4.1 dan tabel 4.2 adalah histori kerusakan yang didapat dari pihak koordinator anggaran dan pihak pemeliharaan mesin *finish mill* Tuban 3-4 PT. Semen Gresik, yaitu dari tahun 2012-2013 : (Report lengkap terlampir)

Tabel 4.1 Tabel histori kerusakan *bucket elevator* 547BE1 tahun 2012^[2]

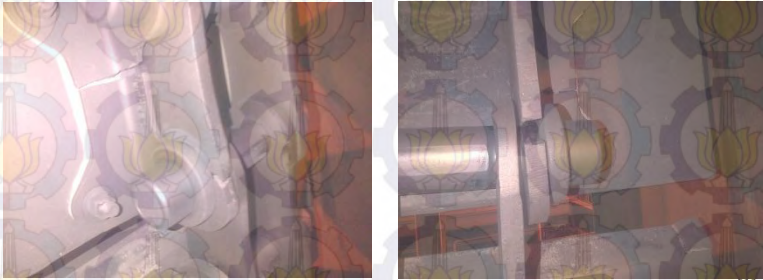
Bulan	Dte	FM-Down cause's	EQUIP	Main Ka
6. Juni	1	547 BE1 both level	547 BE1	UNPLAN
6. Juni	4	547 BE1 both level	547 BE1	UNPLAN
9. September	3	547 BE1 motion	547 BE1	UNPLAN
10. Oktober	5	547 BE1 motion	547 BE1	UNPLAN
10. Oktober	7	547 BE1 motion	547 BE1	UNPLAN
10. Oktober	9	547 BE1 motion	547 BE1	UNPLAN
10. Oktober	9	547 BE1 motion	547 BE1	UNPLAN
10. Oktober	10	547 BE1 motion	547 BE1	UNPLAN
10. Oktober	10	547 BE1 motion	547 BE1	UNPLAN
10. Oktober	12	547 BE1 motion	547 BE1	UNPLAN
10. Oktober	12	547 BE1 motion	547 BE1	UNPLAN
10. Oktober	14	547 BE1 motion	547 BE1	UNPLAN
10. Oktober	20	547 BE1 motion	547 BE1	UNPLAN
10. Oktober	22	547 BE1 motion	547 BE1	UNPLAN
10. Oktober	27	547 BE1 putus	547 BE1	PLAN
11. November	5	547 BE1 motion	547 BE1	UNPLAN

Tabel 4.2 Tabel histori kerusakan *bucket elevator* 547BE1 tahun 2013^[2]

Bulan	Dte	FM-Down cause's	EQUIP	Main Ka
4. April	2	547 BE1 motion detector	547 BE1	UNPLAN
4. April	3	547 BE1 motion detector	547 BE1	UNPLAN
4. April	14	547 BE1 bottom BE mlangse + ganti link train	547 BE1	UNPLAN
6. Juni	2	547 BE1 Chain/Link Chain bucket putus	547 BE1	UNPLAN
6. Juni	20	547 BE1 Chain/Link Chain bucket putus	547 BE1	UNPLAN
7. Juli	16	547 BE1 Chain/Link Chain bucket putus	547 BE1	UNPLAN
7. Juli	17	547 BE1 Chain/Link Chain bucket putus	547 BE1	UNPLAN
7. Juli	23	547 BE1 Pengecekan + ganti chain bucket	547 BE1	PLAN
7. Juli	30	547 BE1 Pengecekan + ganti chain bucket	547 BE1	PLAN
8. Agustus	4	547 BE1 ampere max	547 BE1	UNPLAN
9. September	20	547 BE1 Chain/Link Chain bucket putus	547 BE1	UNPLAN
9. September	21	547 BE1 Chain/Link Chain bucket putus	547 BE1	UNPLAN
9. September	22	547 BE1 Chain/Link Chain bucket putus	547 BE1	UNPLAN
10. Oktober	10	547 BE1 motion detector	547 BE1	UNPLAN
10. Oktober	12	547 BE1 motion detector	547 BE1	UNPLAN
10. Oktober	15	547 BE1 motion detector	547 BE1	UNPLAN
10. Oktober	20	547 BE1 Chain/Link Chain bucket putus	547 BE1	UNPLAN
10. Oktober	21	547 BE1 Chain/Link Chain bucket putus	547 BE1	UNPLAN
10. Oktober	27	547 BE1 Chain/Link Chain bucket putus	547 BE1	UNPLAN
11. November	18	547 BE1 Chain/Link Chain bucket putus	547 BE1	UNPLAN
12. Desember	2	547 BE1 ganti link 3ea + check nozzle WS (d	547 BE1	UNPLAN

4.1.2 Foto – foto kerusakan *Chain*

Foto kerusakan *chain* diperoleh dari pihak Pemeliharaan Mesin *Finish Mill* 3-4 PT. Semen Gresik.



Gambar 4.1 Kondisi posisi kerusakan pada *Chain Bucket Elevator*^[1]

Gambar 4.1 di atas terlihat terjadinya *failure* pada *chain*. Kondisi *failure* ini merupakan putusnya *chain* pada bagian satu sisi *outer link chain* beserta pada *mounting angle*. Patahan terjadi diawali dengan pada bagian *outer link* salah satu sisi *chain* kemudian *mounting angle* yang tidak di desain untuk menahan beban tarik kemudian patah. Hal ini jika dibiarkan mampu menyebabkan kerusakan pada sisi yang berlawanan sehingga kedua sisi *outer link chain* akan patah dan *chain* akan putus keseluruhan. Gambar patahnya *outer link chain* dan *mounting angle* dapat dilihat pada gambar 4.2 dan 4.3 di bawah ini.



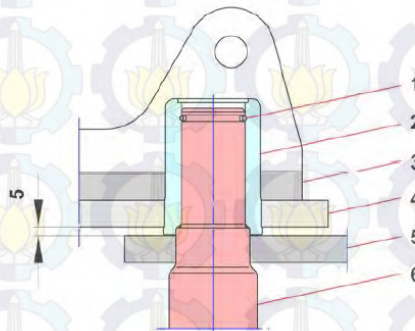
Gambar 4.2 Kerusakan pada bagian *outer link chain*



Gambar 4.3 Kerusakan pada bagian *mounting angle*

4.1.3 Struktur Material *Chain*

Struktur *chain Beumer* memiliki perbedaan daripada struktur *chain* pada umumnya. Perbedaan paling mendasar terdapat pada posisi *bushing* dan tidak adanya *roller* pada *pen shaft*. *Chain* pada umumnya memiliki *bushing* yang melekat pada *inner link* atau *roller link*, namun pada *chain beumer* ini *bushing* melekat pada *outer link*. *Bushing* memiliki suaian paksa dengan *outer link* dan suaian longgar pada *pen shaft*, sehingga *bushing* mampu berputar dari porosnya. *Chain* juga tidak dilengkapi *roller* pada bagian *pen shaft*, dan bentuk *pen shaft* dibuat bertingkat. Struktur *chain* secara detail dijelaskan pada gambar 4.4.



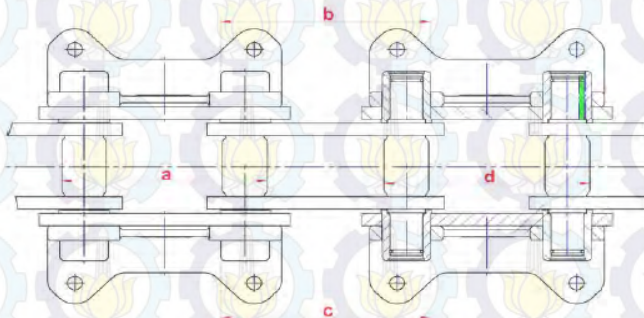
Keterangan : 1. *Retaining ring*; 2. *Bushing*; 3. *Mounting angle*; 4. *Outer link plate*; 5. *Roller link plate*; 6. *Bolt*

Gambar 4.4 Struktur dasar *chain Beumer* ^[5]

4.1.4 Kondisi Aktual Operasional

Kondisi aktual operasional *bucket elevator* didapatkan di bagian Pemeliharaan *Finish Mill* 3-4 dengan penggalian informasi dengan operator dan kepala seksi. Kondisi aktual ini adalah sebagai berikut dengan terbagi menjadi beberapa klasifikasi. ^[1]

1. Alat : *Outer link plate* pecah selalu terjadi pada bagian *bushing* diikuti pecahnya *mounting angle*. Berdasarkan *monitoring operator* terdapat beberapa keadaan *outer link plate* yang goyang terhadap *pen shaft* disebabkan karena diameter *bushing* pada *outer link* yang mengalami suaian longgar dengan *roller link*. Suaian longgar yang menjadi standar adalah $1,1 \text{ mm} + 0,2 / - 0,2$.
2. Manusia : Proses penggantian saat pergantian *sparepart* tidak dilakukan sesuai standar, sehingga pemasangan *bushing* terhadap *pen* tidak presisi. Tidak presisi yang dimaksud adalah jarak sumbu antar *bushing* yang tidak sama. Jarak sumbu *bushing* yang menjadi standar pemasangan pada *chain beumer* terdapat pada gambar 4.5.



Central chain	Nominal dimensions a, d + 0.3 / - 0.25	Nominal dimensions b, c + 0.3 / - 0.25	Limits a, d	Limits b, c
BZK 800	230 mm	234 mm	240 mm	244 mm
BZK 1200	235 mm	240 mm	245 mm	250 mm
BZK 1500	240 mm	245 mm	250 mm	255 mm

Gambar 4.5 Standar operasi jarak antar *bushing* ^[1]

4.2 **Posibilitas Penyebab Kegagalan Chain pada Bucket Elevator Transport System Area Finish Mill 7th**

Chain sebagai sistem penggerak merupakan salah satu komponen utama *bucket elevator*. Berdasarkan kepada studi literatur terdapat beberapa kerusakan yang dapat terjadi pada *chain bucket elevator*.^[9]

Fracture / Plastic Deformation :

1. *Overload* : *overload* merupakan keadaan ketika beban yang diterima melebihi beban maksimum yang diizinkan atau diatas *yield strength*. Ketika beban diterima berlebih menyebabkan deformasi pada struktur material maka hal ini dapat menyebabkan *fracture* ketika sudah mencapai titik puncak atau *ultimate strength*.
2. *Fatigue* : *fatigue* atau kelelahan adalah bentuk dari kegagalan yang terjadi pada struktur karena beban dinamik yang berfluktuasi dibawah *yield strength* yang terjadi dalam waktu yang lama dan berulang-ulang. Terdapat 3 fase dalam kelelahan yaitu permulaan retak, penyebaran retak, dan patah. Mekanisme dari permulaan retak umumnya dimulai dari *crack initiation* yang terjadi di permukaan material yang lemah atau daerah dimana terjadi konsentrasi tegangan di permukaan.
3. *Wrong Heat Treatment* : *heat treatment* merupakan proses perlakuan temperatur pada proses *manufacturing* untuk mencapai sifat material yang diinginkan. Hal ini memungkinkan terjadinya kesalahan proses yang dapat menyebabkan ketidakesuaian sifat material dengan kondisi aktual kebutuhan baik dari nilai kekerasan, ketangguhan, kekuatan, dan sebagainya.

4.3 **Analisa Properti Material Chain Beumer**

Material *chain* Beumer BZK 1200 belum diketahui properti material secara kimia maupun mekanik, sehingga dilakukan pengujian yaitu :

1. *Optical Emission Spectrometry* : pengujian untuk mendapatkan komposisi kimia yang terkandung pada material.
2. *Hardness Rockwell C Test (HRC)* : pengujian untuk mendapatkan nilai kekerasan material.
3. *Charpy Impact Test* : pengujian untuk mendapatkan nilai energi yang mampu diserap oleh material.

4.3.1 Komposisi Kimia Material dengan Pengujian *Optical Emission Spectrometry (OES)*

Pengujian komposisi kimia pada material *chain* Beumer BZK 1200 memperoleh hasil sebagai berikut.

Tabel 4.3 Komposisi kimia *Chain Beumer BZK1200*

Unsur	Fe	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo
%	97.7	0.134	0.301	1.41	0.0145	0.0027	0.263	0.0053

Unsur	Ni	Al	Co	Cu	Nb	Ti	V	W
%	0.0101	0.0301	0.0012	0.0079	0.0045	0.0316	0.0088	0.0010

Unsur	Pb	Sn	B	Ca	Zr	Zn	Bi	As
%	0.0010	0.0005	0.0017	0.0003	0.0104	0.0006	0.0027	0.0006

Unsur	N	Se	Sb	Ta
%	0.0030	0.0010	0.0037	0.0040

Hasil pengujian komposisi kimia diperlihatkan pada tabel 4.3. Kandungan *Carbon* 0.134%, menandakan bahwa material ini merupakan jenis *low carbon*. Material *low carbon* sendiri merupakan material yang memiliki kandungan *carbon* 0.05 - 0.25 %. Komposisi kimia unsur lain yang merupakan unsur paduan dominan adalah *Manganese* 1.41%. Komposisi kimia unsur lain yang jumlahnya kecil adalah *Silicon* 0.301%, *Chromium* 0.263%, *Phosphorus* 0.0145%.

Unsur kimia kemudian dianalisa dengan referensi jenis-jenis material pada *American Society for Metals Handbook (ASM Metals Handbook)*. Kandungan *Ferrous* 97.7% dan *Carbon* 0.134% menandakan material ini tergolong *Low Carbon Steel*. *Manganese* 1.41% merupakan unsur dominan utama yang mempengaruhi kekuatan pada *chain* sehingga tergolong *manganese steel*.

Klasifikasi terdekat yang tepat pada *ASM Metals Handbook Vol 1* untuk jenis material *Chain Beumer BZK1200* terdapat pada tabel 17 dan 18 *Chemical Analysis Compositions* dimana tertera komposisi kimia sebagai berikut pada tabel 4.4 berikut ini :

Tabel 4.4 *High Manganese Carbon Steel Compositions* ^[11]

UNS Number	SAE-AISI number	C	Mn	Pmax	Smax	Former SAE Number
G15130	1513	0.10–0.16	1.10–1.40	0.040	0.050	-
G15240	1524	0.18–0.25	1.30–1.65	0.040	0.050	1024

Keterangan :

- G15130 *Applicable only to semifinished products for forging, hot-rolled and cold-finished bars, wire rods, and seamless tubing*
- G15240 *Applicable only to structural shapes, plates, strip, sheets, and welded tubing*

Berdasarkan pada *literatur yang didapat*, AISI 1513 saat ini termasuk pada *formerly standard steel* sedangkan AISI 1524 merupakan *standard high manganese carbon steel*. Hal ini menjelaskan bahwa AISI 1513 merupakan material dasar yang *semifinished* atau jarang terdapat di pasaran, sedangkan AISI 1524 merupakan material standar yang tersedia di pasaran dalam bentuk *plates, strips, sheets, shapes, dan tubing*. Karena bentuk dasar dari material *link chain* adalah *plate* maka kemungkinan yang lebih cocok adalah AISI 1524. ^[19]

4.3.2 Kekerasan Material dengan Pengujian *Hardness*

Material *outer link Chain Beumer BZK1200* dilakukan pengujian *hardness* untuk memperoleh nilai kekerasan sebagai berikut.

Tabel 4.5 Hasil pengujian *hardness rockwell material chain*

Pengujian ke-	Sisi permukaan luar	Sisi potongan melintang
1	47 HRC	45 HRC
2	50 HRC	44 HRC
3	46 HRC	45 HRC
4	47 HRC	44 HRC
5	49 HRC	45 HRC
Rata-rata	47,8 HRC	44,6 HRC

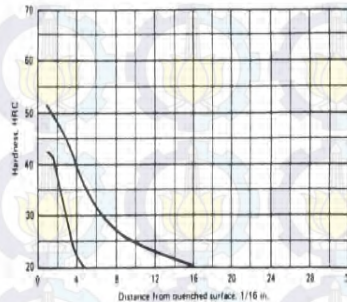
Pengujian *hardness* dilakukan pada variasi dua sisi material yang berbeda dengan hasil seperti pada tabel 4.5. Berdasarkan hasil tersebut terdapat dua kekerasan sisi material *chain Beumer*. Kekerasan pada sisi luar yaitu 47,8 HRC memiliki nilai kekerasan yang lebih besar daripada kekerasan di sisi potongan melintang dengan 44,6 HRC.

Berdasarkan literatur, material *high manganese carbon steel* memiliki kekerasan antara 125-425 HB setara dengan <21 – 45 HRC. Karena sisi potongan melintang memiliki kekerasan 44,6 HRC maka kekerasan ini berada pada batas atas dan tidak wajar. [12]

AISI-SAE 1524H UNS H15240

Specified hardness limits

Distance from quenched surface		Hardness, HRC		Distance from quenched surface		Hardness, HRC	
1/16 in.	mm	Max	Min	1/16 in.	mm	Max	Min
1	1.58	51	42	6	9.48	32	...
1.5	2.37	49	42	6.5	10.27	30	...
2	3.16	48	38	7	11.06	29	...
2.5	3.95	47	34	7.5	11.58	28	...
3	4.74	45	29	8	12.64	27	...
3.5	5.53	43	25	9	14.22	26	...
4	6.32	39	22	10	15.80	25	...
4.5	7.11	38	20	12	18.96	23	...
5	7.90	35	...	14	22.12	22	...
5.5	8.69	34	...	16	25.28	20	...



Gambar 4.6 Spesifikasi *hardness quenched surface* AISI 1524H [13]

Pada gambar 4.6 menjelaskan spesifikasi batas kekerasan pada setiap jarak dari *quenched surface* material AISI 1524H dengan ketebalan 1 inchi. Hal ini menjelaskan nilai kekerasan pada permukaan *quenched surface* dapat mencapai 51 HRC dan mengalami penurunan berbanding lurus dengan jarak dari permukaan. Pengujian kekerasan pada permukaan adalah 46-50 HRC dengan rata-rata 47,8 HRC. Kekerasan yang tinggi ini mengindikasikan adanya proses *quenching surface* pada proses manufaktur untuk memperkeras material.

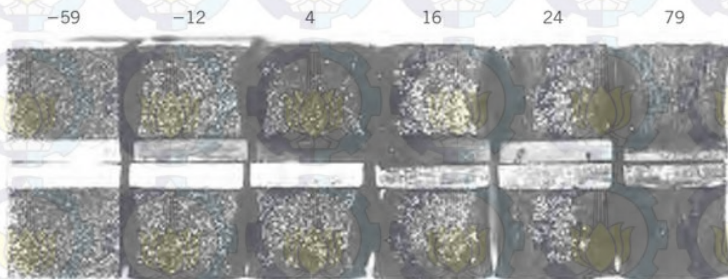
4.3.3 Energi yang Diterima dengan Pengujian *Impact*

Material *outer link Chain* Beumer BZK1200 dilakukan pengujian *impact* untuk memperoleh nilai energi yang mampu diserap oleh material. Hasil pengujian *impact* yang dilakukan sebagai berikut pada tabel 4.6.

Tabel 4.6 Tabel hasil pengujian *impact*

Kode Spesimen	I	II	III
Sebelum Percobaan			
Bahan	HSLA	HSLA	HSLA
Standar pengujian	JIS Z 2242	JIS Z 2242	JIS Z 2242
Standar spesimen	JIS Z 2202	JIS Z 2202	JIS Z 2202
Temperatur	100 °C	100 °C	100 °C
Panjang spesimen (B)	56,20 mm	56,50 mm	56,50 mm
Tebal (A)	10,90 mm	10,70 mm	10,70 mm
Tebal (C)	10,50 mm	10,65 mm	10,00 mm
Saat percobaan			
Jarak tumpuan (p)	40 mm	40 mm	40 mm
Sudut awal (α)	156 °	156 °	156 °
Sudut akhir (β)	131 °	136 °	137 °
Energi untuk mematahkan (Kpm)	4 Kpm	3 Kpm	2,8 Kpm
(Joule)	39,24 J	29,43 J	27,468 J
Rata - rata	32,046 J		
(Joule/mm ²)	0,490 J/mm ²	0,367 J/mm ²	0,343 J/mm ²
Rata - rata	0,400 J/mm ²		
Sesudah percobaan			
Tebal patahan (D)	8 mm	8 mm	8 mm
Tebal sisa patahan (D')	0 mm	0 mm	0 mm

Berdasarkan literatur, dijelaskan berbagai tipe pola patahan pada *Charpy impact test*. Pengujian *impact* tersebut dilakukan dengan variasi temperatur -59°C s/d 79°C yang diujikan pada material *steel grade A36* seperti ilustrasi pada gambar 4.7 berikut. Semakin tinggi temperatur maka besar energi yang diterima meningkat dan pola patahan semakin ulet.

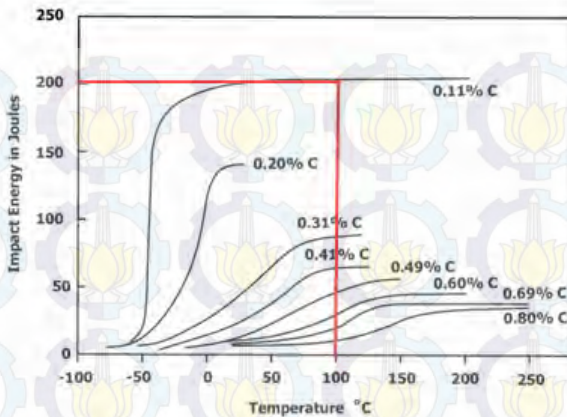
**Gambar 4.7** Pola patahan *Charpy Impact test* ^[14]

Berdasarkan hasil pengujian *impact* yang dilakukan pada temperatur material 100°C diperoleh nilai energi yang mampu diserap material adalah rata-rata 32,046 Joule atau 0,4 J/mm². Keadaan yang terjadi pada ketiga spesimen adalah mengalami patahan secara keseluruhan, terlihat pada gambar 4.8 luas patahan yang terjadi. Pola patahan pada gambar 4.8 terlihat cenderung *flat* dan tidak berserabut. Karena pola patahan yang terjadi demikian maka terindikasi patahan getas.



Gambar 4.8 Spesimen *impact test*

Berdasarkan literatur, dijelaskan pengaruh jumlah *carbon* pada material *plain carbon* dengan besar nilai energi yang diserap pada pengujian *impact*. Pada jurnal ini menyimpulkan seiring bertambah jumlah *carbon* yang terkandung maka kemampuan menyerap energi akan berkurang dan cenderung semakin getas.



Gambar 4.9 Grafik *impact energy* versus *temperature* dengan variasi karbon ^[15]

Berdasarkan grafik pada gambar 4.9 dengan kandungan *carbon* pada AISI 1524 yaitu 0.134% dan perlakuan pengujian pada temperatur 100°C maka nilai *impact energy* adalah 200 Joule. Karena nilai pengujian *impact* yang dilakukan adalah 32,046 Joule jauh lebih kecil, maka hal ini dianggap tidak wajar dan sangat mengindiskan material *chain* bersifat getas.

4.4 Analisa Possibilitas Penyebab Kegagalan *Chain* pada *Bucket Elevator Transport System Area Finish Mill 7th*

Berdasarkan hipotesa awal yang dibangun, penulis melakukan analisis terhadap potensial penyebab kerusakan yang terjadi pada *chain bucket elevator*.

4.4.1 *Overload*

Overload merupakan keadaan ketika beban yang diterima melebihi beban maksimum yang diizinkan atau diatas *yield strength*. Ketika beban diterima berlebih menyebabkan deformasi pada struktur material maka hal ini dapat menyebabkan *fracture* ketika sudah mencapai titik puncak atau *ultimate strength*.

Berdasarkan data-data yang didapatkan dari spesifikasi *bucket elevator* maka dapat dilakukan perhitungan secara analitis besarnya gaya yang teraplikasi, sehingga dapat diketahui apakah gaya yang diterima

melebihi besar gaya yang diizinkan oleh spesifikasi material Beumer dan dapat berpotensi terjadinya *overload*.

4.4.1.1 Perhitungan Pendekatan *Force* yang Teraplikasi pada *Chain*

Berdasarkan data yang diperoleh dari *datasheet* Beumer dan referensi perhitungan pada literature, maka dilakukan perhitungan pendekatan teoritis gaya yang teraplikasi pada *chain*.^{[5],[16]}

Diketahui *bucket elevator* Beumer BZK 1200 W merupakan tipe:

- *central chain bucket elevator*
- *single chain*
- *vee bucket*

Spesifikasi data *Bucket elevator* Beumer BZK 1200 W :

- Daya = 90 kW
- Q (*conveying capacity*) = 400 t/h
- v (*conveying speed*) = 1,62 m/s
- ψ (*average loading efficiency of buckets*) = 71% = 0,71
- q (berat beban per meter ; $q = \frac{Q}{3,6 \cdot v} \left(\frac{kg}{m} \right)$)
- q_0 (berat per meter rantai dan *bucket* (kg/m)) =
 - Berat *chain* = 80 kg/m
 - Berat *bucket* = 31,2 kg
- a (jarak *bucket / bucket spacing*) = 360 mm
- h (tinggi *bucket*) = 300 mm
- A (lebar *bucket*) = 630 mm
- a max (*grain size / ukuran partikel terbesar yang dipindahkan*) = 50 mm
- H (tinggi elevasi pemindahan beban) = 42600 mm = 42,6 m
- γ (berat material per unit volume (ton/m³)) = 1,20 t/m³
- io (volume *bucket* (liter))
- $K1$ (faktor yang diberikan pada tahanan gerak, serta *bending* pada *belt*/rantai dan tahanan pada saat *bucket* mengeruk material) = 1,25 (didapat dari tabel kisaran $K1, K2, K3$ pada tipe *single chain* dan *v bucket*)

Perhitungan beban maksimum yang diterima *chain* :

- Kapasitas :

$$\Leftrightarrow Q = 3,6 \cdot \frac{io}{a} \cdot \psi \cdot \gamma \cdot v$$

$$\Leftrightarrow \frac{io}{a} = \frac{Q}{3,6 \cdot \psi \cdot \gamma \cdot v}$$

$$\Leftrightarrow \frac{io}{a} = \frac{400 \text{ t/h}}{3,6 \cdot (1,62 \frac{m}{s}) \cdot (1,20 \frac{t}{m^3}) \cdot 0,71}$$

$$\Leftrightarrow \frac{io}{a} = 80,50129768$$

$$\Leftrightarrow io = 80,50129768 \cdot (\frac{360}{1000})$$

$$\Leftrightarrow io = 28,98 \text{ liter}$$

- Tegangan maksimum rantai (*single chain*) :

$$\Leftrightarrow S_{max} = 1,15 H (q + K1 \cdot qo) 9,81$$

$$\Leftrightarrow q = \frac{Q}{3,6 v} = \frac{400 \text{ t/h}}{3,6 \cdot 1,62 \text{ m/s}} = 68,5871 \frac{kg}{m}$$

$$\Leftrightarrow qo = 80 \frac{kg}{m} + (\frac{31,2 \text{ kg}}{0,360 \text{ m}}) = 166,7 \frac{kg}{m}$$

$$\Leftrightarrow$$

$$S_{max} = 1,15 \cdot 42,6 \text{ m} \cdot (68,5871 \frac{kg}{m} + 1,25 \cdot 166,7 \frac{kg}{m}) \cdot 9,81$$

$$\Leftrightarrow S_{max} = 133,106 \text{ kN}$$

Kesimpulan yang didapat bahwa nilai teoritis perhitungan tegangan yaitu 133,106 kilonewton berada jauh di bawah nilai kekuatan yang menjadi spesifikasi *chain* beumer BZK 1200 yaitu 1200 kilonewton, seperti pada gambar 4.10. Atas dasar perhitungan ini dapat disimpulkan tidak terjadi keadaan *overload* pada saat operasional.

Designation	„Tensile strength“
BZK 800	800 kN
BZK 1200	1200 kN
BZK 1600	1600 kN
BZK 2000	2000 kN

Gambar 4.10 Spesifikasi *tensile strength chain* Beumer BZK 1200 ^[5]

- Perhitungan Daya :

$$\eta_t = 0,9 \text{ (efisiensi transmisi, asumsi)}$$

$$\Leftrightarrow Nm = \frac{9,81}{1000} \cdot \left(\frac{1,15 \cdot Q \cdot H}{3,6} + \frac{K3 \cdot qo \cdot H \cdot v}{3,6} \right) \cdot \frac{1}{\eta_t}$$

$$\Leftrightarrow Nm = \frac{9,81}{1000} \cdot \left(\frac{1,15 \cdot 400 \cdot 42,6}{3,6} + \frac{0,8 \cdot 166,7 \cdot 42,6 \cdot 1,62}{3,6} \right) \cdot \frac{1}{0,9}$$

$$\Leftrightarrow Nm = 87,198 \text{ kW}$$

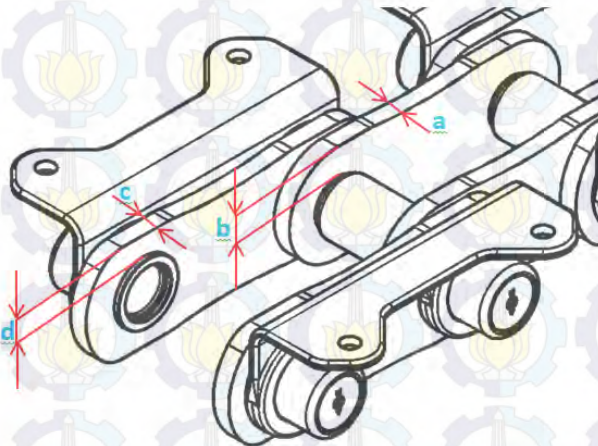
Berdasarkan hasil perhitungan didapatkan bahwa tegangan maksimum yang diterima oleh rantai adalah 133,106 kN. Perhitungan secara teoritis didapatkan bahwa daya yang dibutuhkan adalah 87,198 kW. Spesifikasi pada tabel 4.7 menunjukkan bahwa motor yang kini terpasang dengan 90 kW berada di atas kebutuhan teoritis sehingga kemampuan daya motor dipastikan memadai.

Tabel 4.7 Spesifikasi *drive motor* Beumer BZK 1200 ^[5]

Designation	Data
Drive motor	Siemens
Motor type	1LG4 283-4AA
Rated power	90 kW

Perhitungan distribusi tegangan pada *link chain* luar dan dalam. Diketahui pada gambar 4.11 :

- Luas melintang *link chain* luar : $A_1 = 21\text{mm} \times 15\text{mm} = 315\text{ mm}^2$
- Luas melintang *link chain* dalam : $A_2 = 28,5\text{mm} \times 15\text{mm} = 427,5\text{ mm}^2$



a	B	C	d
15 mm	28,5 mm	15 mm	21 mm

Gambar 4.11 *Drawing tebal melintang link chain dalam dan luar* ^[5]

- Perhitungan distribusi tegangan pada *link chain* luar (*outer link*) :

$$\Leftrightarrow \sigma = \left(\frac{S_{max}}{4.A1} \right)$$

$$\Leftrightarrow \sigma = \left(\frac{133,106 \text{ kN}}{4.315 \text{ mm}^2} \right) = 105,64 \text{ N/mm}^2$$

- Perhitungan distribusi tegangan pada *link chain* dalam (*roller link*) :

$$\Leftrightarrow \sigma = \left(\frac{S_{max}}{4.A2} \right)$$

$$\Leftrightarrow \sigma = \left(\frac{133,106 \text{ kN}}{4.427,5 \text{ mm}^2} \right) = 77,84 \text{ N/mm}^2$$

Perhitungan secara teoritis didapatkan bahwa besar tegangan yang diterima oleh *link chain* luar yaitu $105,64 \text{ N/mm}^2$ dan *link chain* dalam adalah $77,84 \text{ N/mm}^2$. Karena kekuatan yang diterima oleh *link chain* luar lebih besar daripada *link chain* dalam maka hal ini mengindikasikan kuat bahwa terjadinya *failure* pada *chain* selalu terjadi pada *link chain* luar.

Berdasarkan pada literature, *datasheet* material AISI 1524 memiliki nilai *properties* sebagai berikut : ^[17]

- *Yield strength* = $283 \text{ MPa} = 283 \text{ N/mm}^2$
- *Ultimate strength* = $510 \text{ MPa} = 510 \text{ N/mm}^2$

Nilai di atas membuktikan bahwa kekuatan material yang diizinkan berada jauh di atas tegangan yang diterima sehingga berada pada kondisi toleransi aman dan tidak mengindikasikan terjadinya *overload*.

4.4.1 *Fatigue*

Fatigue atau kelelahan adalah bentuk dari kegagalan yang terjadi pada struktur karena beban dinamik yang berfluktuasi dibawah *yield strength* yang terjadi dalam waktu yang lama dan berulang-ulang. Terdapat 3 fase dalam kelelahan yaitu permulaan retak, penyebaran retak, dan patah. Mekanisme dari permulaan retak umumnya dimulai dari *crack initiation* yang terjadi di permukaan material yang lemah atau daerah dimana terjadi konsentrasi tegangan di permukaan.

Pola patahan yang terjadi pada *chain* dapat mengindikasikan karakteristik patahan sehingga dilakukan pengujian

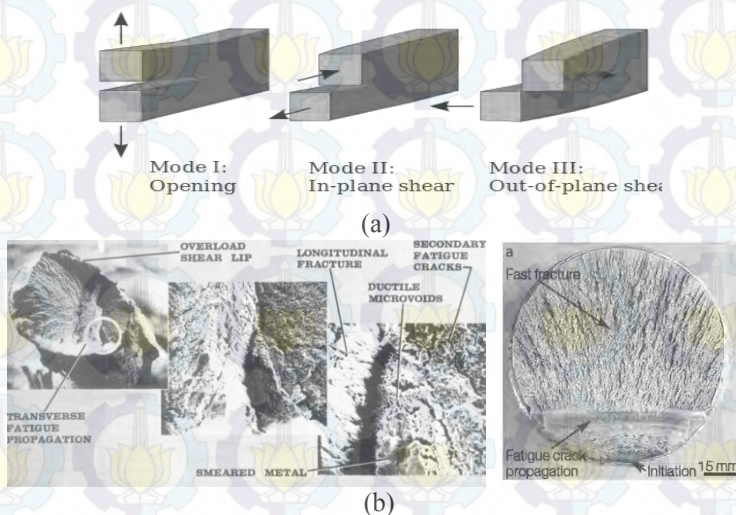
1. Foto makroskopi : mengetahui bentuk pola patahan secara umum pada keseluruhan luasan patahan.
2. *Scanning Electron Microscopy* : mengetahui bentuk pola patahan secara mikroskopik. Alat SEM yang digunakan adalah FEI *Inspect S50*.

3. *Metallography* : mengetahui bentuk struktur mikro pada material dengan variasi jarak terhadap patahan.

4.4.2.1 Foto Makroskopik

Bentuk patahan secara umum dapat dilihat melalui foto makroskopik. Berdasarkan literatur mengenai bentuk patahan akibat *bending* dan *tension* terdapat beberapa jenis pola patahan seperti pada gambar 4.12 (b). Secara umum bentuk patahan terdiri dari 3 tipe, seperti pada gambar 4.12 (a)

1. Tipe 1 patahan : *opening mode*, disebabkan *tensile stress* normal pada bidang retakan.
2. Tipe 2 patahan : *sliding mode*, disebabkan *shear stress* pada arah *parallel* bidang retakan dan arah *perpendicular crack front*.
3. Tipe 3 patahan : *tearing mode*, disebabkan *shear stress* pada arah *parallel* bidang retakan dan arah *parallel crack front*.

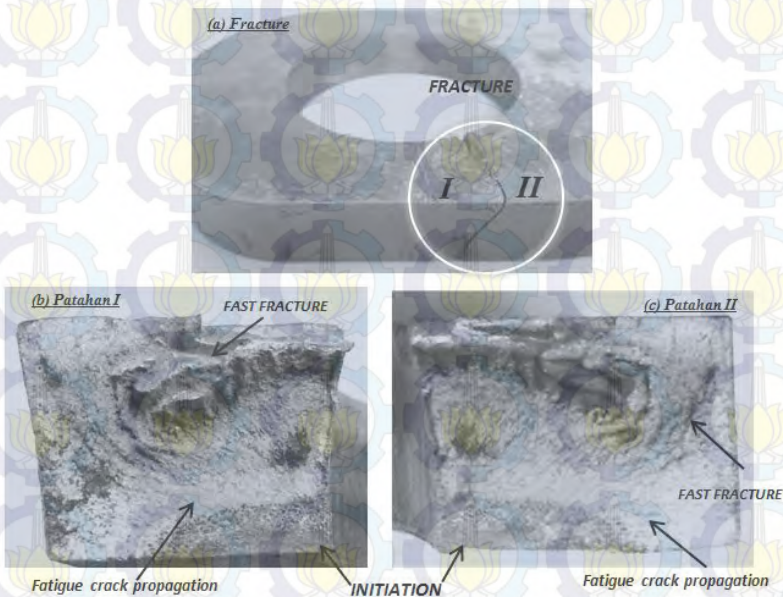


Gambar 4.12 (a) Bentuk patahan ; (b) Analisa retakan secara umum ^[18]

Berdasarkan analisa dengan berbagai *sample* material yang diperoleh, mekanisme *fracture* yang terjadi pada *chain* bersifat beruntun. Patahan terdapat pada kedua lengan *link chain* dan *mounting angle*.

Karena patahnya *mounting angle* dikarenakan patahan *chain*, sehingga *mounting angle* tidak mampu menahan beban maka tidak bisa dikatakan sumber patahan.

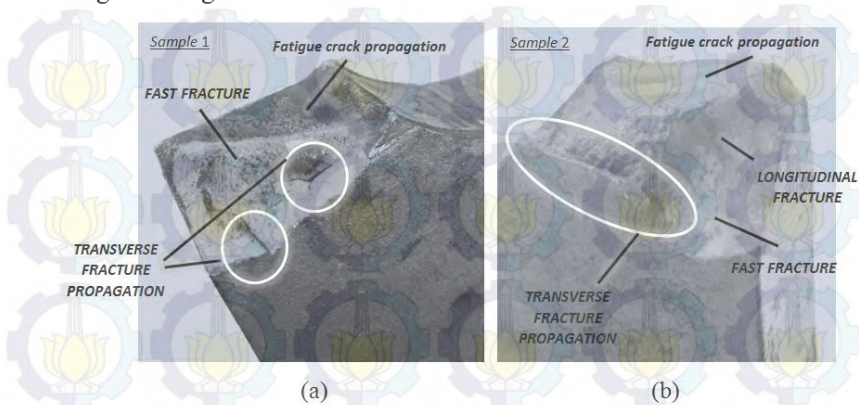
Pada gambar 4.13 (a) menandakan patahan bermula pada salah satu sisi. *Initial fracture* dimulai dari patahnya satu sisi *link chain* yang dekat dengan ikatan *bucket*. Patahan pada material kemudian dipotong menjadi dua bagian untuk menganalisa pola patahan yang terjadi pada kedua sisi.



Gambar 4.13 (a) *Initial Fracture* pada *chain* ; (b) Pola patahan sisi I , (c) pola patahan sisi II

Kedua potongan patahan pada gambar 4.13 (b) dan (c) memperlihatkan pola patahan *fatigue*. *Initial cracking* terjadi pada patahan yang tegak lurus secara transversal dengan arah gaya tarik *chain*. *Initial cracking* dapat dilihat secara jelas dengan bentuk patahan berpusat atau mengarah pada titik awal *inititation*. Patahan kemudian terlihat merambat hingga terjadi *fatigue crack propagation* pada patahan transversal dengan permukaan lebih kasar dari *inititation crack*. Patahan

kemudian terjadi terakhir pada *fast fracture* dengan permukaan yang bergelombang dan kasar.

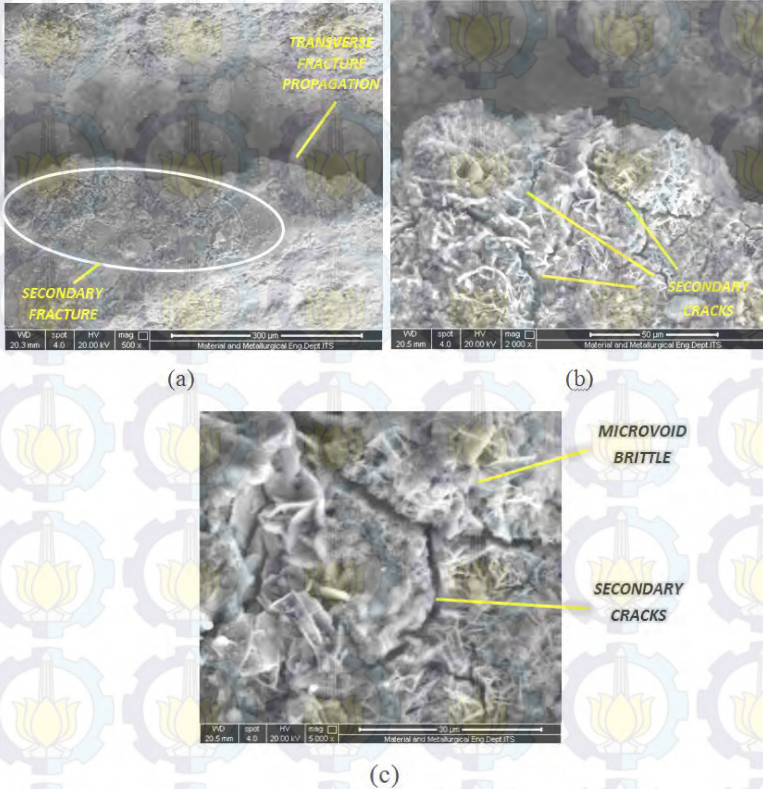


Gambar 4.14 (a) Pola patahan sample 1 ; (b) Pola patahan sample 2

Beberapa *sample material chain* lain yang mengalami patahan dilakukan foto makroskopik seperti pada gambar 4.14. Terdapat kemiripan pola patahan pada *sample chain* gambar (a) dan (b). Hal ini memperlihatkan persamaan bentuk patahan pada kedua *sample*. *Transverse fracture propagation* ditemukan pada pola patahan yang mengindikasikan terjadinya *secondary cracks*. *Longitudinal fracture* merupakan patahan pada arah bidang longitudinal yang mengindikasikan terjadinya *shear lip*. *Fast fracture* terlihat jelas pada pola patahan dengan bentuk yang bergelombang yang mengindikasikan terjadinya *final tensional overload*. Berdasarkan analisa ini maka mengindikasikan patahan terjadi karena *initial cracking* yang disebabkan oleh kelelahan material atau *fatigue*, kemudian diikuti oleh rambatan *crack* pada arah transversal dan terjadilah *failure*.

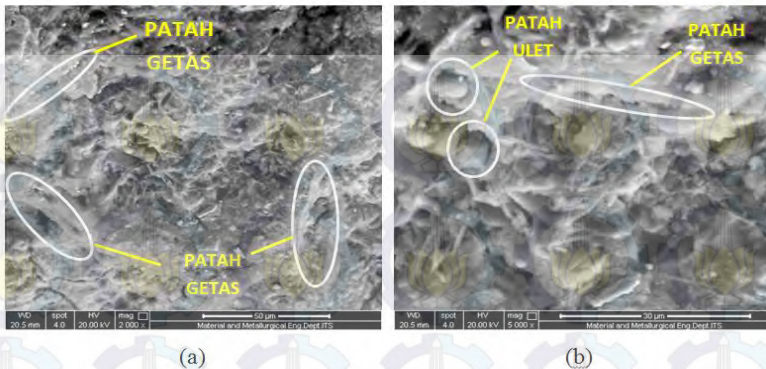
4.4.2.2 Pengujian *Scanning Electron Microscopy*

Pada gambar 4.15 merupakan bentuk perbesaran pada bagian patahan di *transversal fracture propagation*.



Gambar 4.15 (a) *secondary fracture* pada *transverse fracture* SEM 500x; (b) pola patahan pada *secondary cracks* SEM 2000x; (c) *microvoid* SEM 5000x

Gambar 4.15 memperlihatkan terdapatnya *secondary fracture* yang terjadi di sekitar patahan transversal. *Secondary fracture* ini merupakan akibat dari patahan transversal dengan ditemukan banyaknya *propagation crack* pada daerah *secondary fracture*. Dengan perbesaran yang lebih besar terlihat *microvoid* yang tajam mengindikasikan *brittle* atau getas.

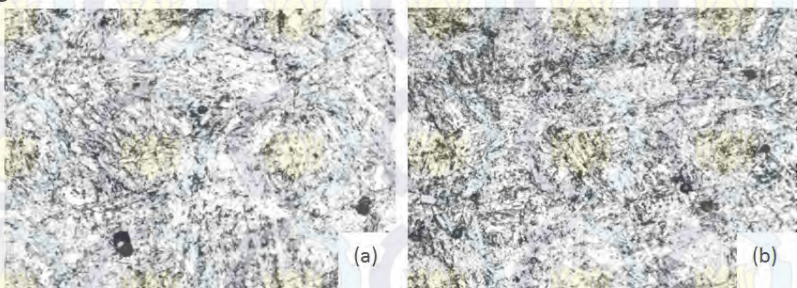


Gambar 4.16 (a) *Microvoid SEM 2000x* ; (b) *Microvoid SEM 5000x*

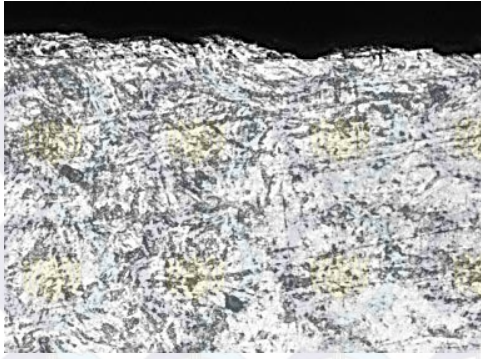
Pada gambar 4.16 memperlihatkan foto perbesaran pada bagian *final fracture*. Patahan yang terjadi mengindikasikan didominasi patahan yang getas pada daerah yang lebih luas, sedangkan patahan yang bersifat ulet terlihat sedikit. Karena didominasi oleh patahan getas yang bergelombang mengindikasikan *final tensional overload* hingga terjadi patah keseluruhan secara seketika.

4.4.2.3 Struktur Mikro dengan Pengujian *Metallography*

Pengujian *metallography* dilakukan untuk mengetahui ada atau tidaknya perubahan struktur mikro pada beberapa titik jarak dari lokasi patahan. Pengujian *metallography* dengan pengetsaan nital, seperti pada gambar di bawah.



Gambar 4.17 (a) Struktur mikro perbesaran 500x, jarak 4mm dari patahan ; (b) Struktur mikro perbesaran 500x, jarak 2mm dari patahan



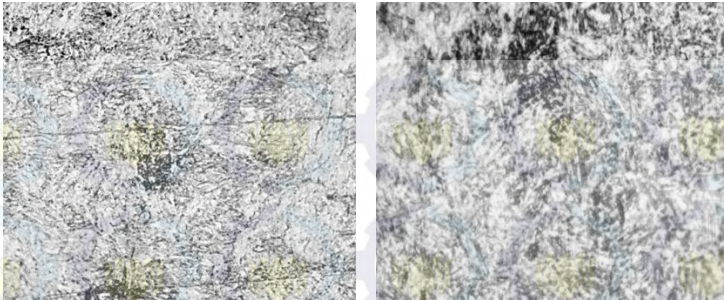
Gambar 4.18 Struktur mikro perbesaran 500x pada lokasi patahan

Berdasarkan gambar 4.17, pada dasarnya terlihat struktur *martensite* dengan sedikit jumlah batas butir *ferrite*. Berdasarkan perbandingan perbedaan jarak yang dilakukan, tidak menunjukkan perbedaan yang signifikan antara struktur mikro jarak 2mm dan 4 mm, seperti terlihat pada gambar 4.17 (a) dan (b).

Gambar 4.18 merupakan struktur mikro pada bagian patahan dan tidak terlihat adanya perbedaan struktur mikro yang signifikan serta tidak terlihat indikasi adanya deformasi pada bagian patahan. Karena hal demikian maka dapat disimpulkan bentuk patahan tidak terjadi deformasi plastis yang besar melainkan patahan getas. Hal ini mendukung indikasi terjadinya patah *fatigue* dengan tidak mengindikasikan adanya proses deformasi pada struktur material di patahan.

4.4.2 Wrong Heat Treatment

Berdasarkan pengujian *metallography* material *chain* menunjukkan struktur mikro yang didominasi oleh *martensite* dan sedikit *ferrite* seperti pada gambar 4.19. Hal ini menunjukkan bahwa struktur *martensite* mengindikasikan material *chain* mengalami *heat treatment Heat treatment* pada pembuatan material bertujuan untuk mencapai nilai kekerasan yang tinggi dan nilai kekuatan yang tinggi. Namun hal ini selaras dengan menurunnya nilai ketangguhan pada material.



Gambar 4.19 Struktur mikro perbesaran 500x

Tabel 4.8 *Mechanical properties Standard AISI 1524* ^[17]

Physical Properties	Metric	English	Comments
Density	7.85 g/cc	0.284 lb/in ³	Typical Carbon Steel
Mechanical Properties	Metric	English	Comments
Hardness, Brinell	>= 149	>= 149	
Tensile Strength, Ultimate	>= 510 MPa	>= 74000 psi	
Tensile Strength, Yield	>= 283 MPa	>= 41000 psi	
Elongation at Break	>= 12 %	>= 12 %	in 2 in. (50 mm)
Reduction of Area	>= 35 %	>= 35 %	
Modulus of Elasticity	200 GPa	29000 ksi	Typical Carbon Steel
Poissons Ratio	0.29	0.29	Typical Carbon Steel
Machinability	60 %	60 %	Cold Drawn AISI 1212 = 100%
Shear Modulus	78.0 GPa	11300 ksi	Typical Carbon Steel

Nilai kekerasan dan nilai kekuatan yang tinggi didasari dengan perbandingan hasil uji percobaan dengan referensi *datasheet*. Berdasarkan data mengenai *mechanical properties* material AISI 1524 ditemukan perbedaan yang signifikan dengan pengujian yang dilakukan. Standar *properties* AISI 1524 terdapat pada tabel 4.8.

Pengujian *hardness Chain* Beumer BZK 1200

- Potongan melintang 44,6 HRC atau 415 HB
- Sisi luar : 47,8 HRC atau 451 HB

Kekuatan material *Chain* Beumer BZK 1200

- *Ultimate Tensile Strength* : 1200 kilonewton
- Perhitungan tegangan *ultimate* pada lengan *outer link chain* :

$$\Leftrightarrow \sigma = \left(\frac{S_{max}}{4.41} \right)$$

$$\Leftrightarrow \sigma = \left(\frac{1200 \text{ kN}}{4.315 \text{ mm}^2} \right) = 952 \text{ N/mm}^2 = 952 \text{ MPa}$$

Berdasarkan nilai kekerasan sesungguhnya yaitu 415 – 451 HB menunjukkan nilai kekerasan lebih tinggi daripada spesifikasi standar yaitu 149 HB. Nilai *ultimate strength* pada material *chain* sesungguhnya yaitu 952 MPa juga menunjukkan nilai kekuatan yang lebih tinggi dibandingkan standar yaitu 510 MPa. Berdasarkan tujuan mencapai *mechanical properties* yang diinginkan, *heat treatment* dilakukan untuk mampu mencapai kekuatan menerima tegangan tinggi, namun material yang sangat keras menyebabkan getas pada struktur material. Berdasarkan struktur mikro dan nilai *properties* tersebut mengindikasikan besar terjadinya *failure* karena kesalahan *heat treatment* pada material.

4.1 Diskusi Hasil Analisa

1. Perhitungan analitis gaya yang bekerja pada *chain* jauh di bawah *yield strength chain* Beumer, sehingga hal ini mengindikasikan *failure* tidak terjadi karena *overload*. Berdasarkan perhitungan analitis, gaya yang bekerja pada *link chain* luar lebih besar daripada *link chain* dalam, sehingga awal kerusakan selalu terjadi di bagian *link chain* luar.
2. *Chain* mengalami beban dinamik yang berfluktuasi dibawah *yield strength* yang terjadi dalam waktu yang lama dan berulang-ulang. Berdasarkan pengamatan penampang patahan tidak terlihat adanya deformasi plastis yang signifikan, sedangkan patahan *brittle* terlihat dominan. Permulaan retak terlihat jelas, fase penyebaran *crack*, dan kemudian mengalami patah atau *final fracture*. Analisa patahan dan *metallography* menunjukkan indikasi patahan yang disebabkan oleh *fatigue*.
3. Material *chain* Beumer merupakan *carbon manganese steel* AISI 1524 Berdasarkan struktur mikro, material mengalami proses *heat treatment* saat proses pembuatannya. Berdasarkan properti yang didapat material ini memiliki kekerasan yang tinggi, kekuatan yang sangat tinggi, dan ketangguhan yang sangat kecil. Namun proses *heat treatment* ini menyebabkan ketangguhan material yang menurun sehingga rentan untuk mengalami *failure*.
4. Solusi yang dapat diberikan antara lain :
 - memperbaiki proses *manufacturing* yang saat ini terlihat sangat kasar pada permukaan *chain*. Permukaan *chain* yang kasar sangat berpotensi untuk menyebabkan terjadi *initial cracking*.

- Perbaikan proses *heat treatment* yang lebih baik untuk mencapai nilai kekuatan, kekerasan dan ketangguhan yang lebih tepat.
- Desain bentuk *chain* yang lebih baik khususnya pada bagian sisi patahan pada *outer link chain* Beumer dilakukan pelebaran agar lebih tebal, sehingga memiliki kekuatan yang lebih baik untuk menerima tegangan.





(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Kesimpulan yang diperoleh dari hasil investigasi kerusakan pada *chain* di *Bucket Elevator Area Finish Mill 7th PT. Semen Gresik*, yang berdasar kepada analisa data dan pengujian yang dilakukan adalah sebagai berikut :

1. Hasil perhitungan analitis gaya yang bekerja pada *chain bucket elevator* berada di bawah *limit stress* yang dapat diterima sehingga kondisi operasional sesungguhnya tidak terjadi *overload* pada *chain*.
2. Pengamatan struktur mikro dan pola patahan tidak terlihat adanya deformasi plastis, sedangkan patahan *brittle* terlihat dominan. Permulaan retak terlihat jelas, fase penyebaran *crack*, dan kemudian mengalami patah atau *final fracture*. Analisa patahan dan *metallography* menunjukkan patahan yang disebabkan oleh *fatigue failure*.
3. Pengamatan struktur mikro terlihat *martensite* dan sedikit *ferrite*, menunjukkan bahwa terdapat proses *heat treatment* yang dilakukan pada proses pembuatan *chain*.
4. Nilai kekerasan dan kekuatan material pada *chain* tinggi yang menyebabkan nilai ketangguhan kecil tidak baik dan aman terhadap beban atau *stress*, sehingga terjadi *failure*.
5. Solusi yang diberikan yaitu memperbaiki proses *heat treatment* untuk memperoleh nilai kekuatan, kekerasan, dan ketangguhan yang lebih tepat.

5.2 Saran

Saran yang dapat diberikan kepada pihak PT. Semen Gresik adalah sebagai berikut :

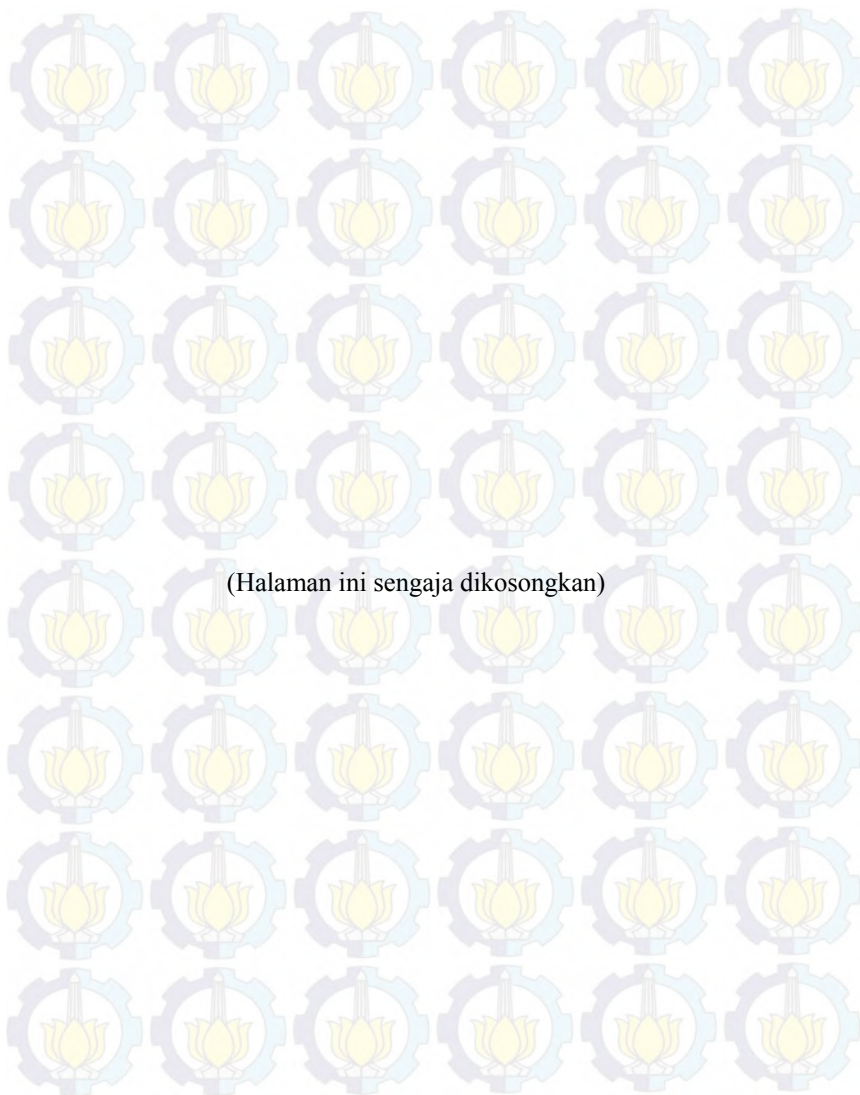
1. Agar tidak terjadinya patahnya *chain* pada *bucket elevator* perlu dilakukan pemilihan material yang lebih baik dari segi ketangguhannya dengan mempertimbangkan *limit stress* yang sesuai dengan analisa operasional.
2. Perbaikan desain *chain* yang lebih rigid untuk mengurangi getaran agar meminimalisir kemungkinan terjadinya *failure*. Memperbaiki proses *manufacturing* pada proses pemotongan material yang saat ini sangat kasar. Desain bentuk *chain* yang

lebih baik khususnya pada bagian sisi patahan pada *outer link chain* Beumer dilakukan pelebaran agar lebih tebal, sehingga memiliki kekuatan yang lebih baik untuk menerima tegangan.

3. Proses *maintenance* pada *manual book* operasional sebaiknya dilakukan sesuai standar yang ada. *Preventive maintenance* yang dilakukan pada *elongation chain*, *misalignment* pada *sprocket*, dan lainnya sebaiknya dilakukan sesuai standar selang waktu yang direkomendasikan.
4. *Instrument control* yang terdapat pada *bucket elevator* meliputi *misalignment* dan *tensional chain* sebaiknya ada, sehingga data yang akurat untuk mengontrol operasional lebih lengkap.

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1	Komposisi Kimia OES.....	xv
Lampiran 2	<i>Downtime History</i> 547BE01	xvi
Lampiran 3	Hasil uji <i>impact</i>	xvii
Lampiran 4	Foto-foto Konstruksi <i>Bucket Elevator</i>	xviii
Lampiran 5	Sistem Kontrol <i>Finish Mill</i> 8	xx



Lampiran 1

Komposisi Kimia OES

Spektralanalyse Foundry-MASTER										Grade :	
		Fe	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo		
1	97.7	0.0098	0.132	0.294	1.44	0.0141	0.0025	0.261	0.0048		
2	97.7	0.0104	0.135	0.300	1.40	0.0140	0.0031	0.262	0.0038		
3	97.7	0.0101	0.134	0.311	1.41	0.0153	0.0024	0.266	0.0073		
Ave	97.7	0.0101	0.134	0.301	1.41	0.0145	0.0027	0.263	0.0053		
		Ni	Al	Co	Cu	Nb	Ti	V	W		
1	0.0098	0.0294	0.0011	0.0012	0.0033	0.0111	0.0339	0.0076	< 0.0010		
2	0.0104	0.0283	0.0012	0.0013	0.0085	0.0025	0.0313	0.0111	< 0.0010		
3	0.0101	0.0327	0.0012	0.0013	0.0118	< 0.0010	0.0298	0.0077	< 0.0010		
Ave	0.0101	0.0301	0.0012	0.0012	0.0079	0.0045	0.0316	0.0088	< 0.0010		
		Pb	Sn	B	Ca	Zr	Zn	Bi	As		
1	< 0.0010	< 0.0005	< 0.0005	0.0018	0.0003	0.0097	0.0003	0.0019	< 0.0005		
2	< 0.0010	< 0.0005	< 0.0005	0.0017	0.0004	0.0112	0.0007	0.0027	< 0.0005		
3	< 0.0010	< 0.0005	< 0.0005	0.0018	0.0003	0.0105	0.0008	0.0034	0.0015		
Ave	< 0.0010	< 0.0005	< 0.0005	0.0017	0.0003	0.0104	0.0006	0.0027	0.0006		
		N	Se	Sb	Ta						
1	< 0.0030	< 0.0010	0.0041	< 0.0040	< 0.0040						
2	< 0.0030	< 0.0010	0.0071	< 0.0040	< 0.0040						
3	< 0.0030	0.0018	< 0.0010	< 0.0040	< 0.0040						
Ave	< 0.0030	< 0.0010	0.0037	< 0.0040	< 0.0040						

Lampiran 2

Downtime History 547BE01

2012

Bulan	Dte	FM-Down cause's	EQUIP	Main Ka
6. Juni	1	547 BE1 both level	547 BE1	UNPLAN
6. Juni	4	547 BE1 both level	547 BE1	UNPLAN
9. September	3	547 BE1 motion	547 BE1	UNPLAN
10. Oktober	5	547 BE1 motion	547 BE1	UNPLAN
10. Oktober	7	547 BE1 motion	547 BE1	UNPLAN
10. Oktober	9	547 BE1 motion	547 BE1	UNPLAN
10. Oktober	9	547 BE1 motion	547 BE1	UNPLAN
10. Oktober	10	547 BE1 motion	547 BE1	UNPLAN
10. Oktober	10	547 BE1 motion	547 BE1	UNPLAN
10. Oktober	12	547 BE1 motion	547 BE1	UNPLAN
10. Oktober	12	547 BE1 motion	547 BE1	UNPLAN
10. Oktober	14	547 BE1 motion	547 BE1	UNPLAN
10. Oktober	20	547 BE1 motion	547 BE1	UNPLAN
10. Oktober	22	547 BE1 motion	547 BE1	UNPLAN
10. Oktober	27	547 BE1 putus	547 BE1	PLAN
11. November	5	547 BE1 motion	547 BE1	UNPLAN

2013

Bulan	Dte	FM-Down cause's	EQUIP	Main K
4. April	2	547 BE1 motion detector	547 BE1	UNPLAN
4. April	3	547 BE1 motion detector	547 BE1	UNPLAN
4. April	14	547 BE1 bottom BE mlangse + ganti link train	547 BE1	UNPLAN
6. Juni	2	547 BE1 Chain/Link Chain bucket putus	547 BE1	UNPLAN
6. Juni	20	547 BE1 Chain/Link Chain bucket putus	547 BE1	UNPLAN
7. Juli	16	547 BE1 Chain/Link Chain bucket putus	547 BE1	UNPLAN
7. Juli	17	547 BE1 Chain/Link Chain bucket putus	547 BE1	UNPLAN
7. Juli	23	547 BE1 Pengecekan + ganti chain bucket	547 BE1	PLAN
7. Juli	30	547 BE1 Pengecekan + ganti chain bucket	547 BE1	PLAN
8. Agustus	4	547 BE1 ampere max	547 BE1	UNPLAN
9. September	20	547 BE1 Chain/Link Chain bucket putus	547 BE1	UNPLAN
9. September	21	547 BE1 Chain/Link Chain bucket putus	547 BE1	UNPLAN
9. September	22	547 BE1 Chain/Link Chain bucket putus	547 BE1	UNPLAN
10. Oktober	10	547 BE1 motion detector	547 BE1	UNPLAN
10. Oktober	12	547 BE1 motion detector	547 BE1	UNPLAN
10. Oktober	15	547 BE1 motion detector	547 BE1	UNPLAN
10. Oktober	20	547 BE1 Chain/Link Chain bucket putus	547 BE1	UNPLAN
10. Oktober	21	547 BE1 Chain/Link Chain bucket putus	547 BE1	UNPLAN
10. Oktober	27	547 BE1 Chain/Link Chain bucket putus	547 BE1	UNPLAN
11. November	18	547 BE1 Chain/Link Chain bucket putus	547 BE1	UNPLAN
12. Desember	2	547 BE1 ganti link 3ea + check nozzle WS (o	547 BE1	UNPLAN

2014

Bulan	Dte	FM-Down cause's	EQUIP	Main K
JAN	28	547 BE1 Chek bucket	547 BE1	PLAN
FEB	23	547 BE1 ganti link + wing 5ea	547 BE1	PLAN
MAR	20	547 BE1 Ganti link + wing	547 BE1	UNPLAN

Lampiran 3

Hasil Uji Impact

IMPACT TESTING

Kode Spesimen	I	II	III
Sebelum Percobaan			
Bahan	H S L A	H S L A	H S L A
Standar pengujian	JIS Z 2242	JIS Z 2242	JIS Z 2242
Standar spesimen	JIS Z 2202	JIS Z 2202	JIS Z 2202
Temperatur	100...°C	100...°C	100...°C
Panjang spesimen (B)	56,2...mm	56,5...mm	56,5...mm
Tebal (A)	1,09...mm	1,07...mm	1,07...mm
Tebal (C)	1,05...mm	1,05...mm	1,00...mm
Saat percobaan			
Waktu periode (T ₅₀)	91/0,823 second	91/0,823 second	91/0,823second
Jarak tumpuan (p)	40 mm	40 mm	40 mm
Sudut awal (α)	156°	156°	156°
Sudut akhir (β)	137°	136°	137°
Energi untuk mematahkan (Ekpm)	4.Kgm	3.Kgm	2,8Kgm
Sesudah percobaan			
Tebal patahan (D)	8...mm	8...mm	8...mm
Tebal sisa patahan (D')	0...mm	0...mm	0...mm

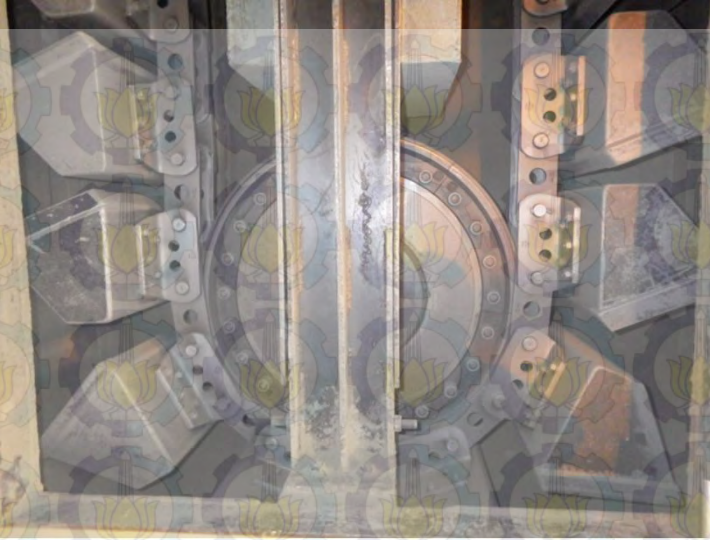
Lampiran 4

Foto-foto Konstruksi *Bucket Elevator*

BEUMER



REXNORD



Lampiran 5

Sistem Kontrol Finish Mill 8



DAFTAR PUSTAKA

- [1] Adam, Ruri dkk. 2014. *GKM Mahadewa, Menurunkan Frekuensi Gangguan di Chain Bucket Elevator 547BE01 Dengan Menekan Gangguan Link Chain Putus Sebesar 80% Selama 32 Minggu*. Tuban, Indonesia : Pemeliharaan Finish Mill 3-4, PT. Semen Indonesia.
- [2] Rochmana. 2015. *Performance and Downtime Finish Mill Tuban 1-4*. Indonesia : Koordinator Anggaran, PT. Semen Indonesia.
- [3] BPM 3. 2014. *Plane Visit. Indonesia* : Presentation Finish Mill, PT. Semen Indonesia.
- [4] Al Gathafi, Moamar dan Priambadha, Genki Ramadyan. 2014. *Analisa Kearsan pada Liner Kompartemen 2 Tube Mill Tuban 1*. Indonesia : Laporan Kerja Praktek Teknik Metalurgi ITS Surabaya.
- [5] Beumer. 2010. *Operating instructions of Central chain bucket elevator 6090213.30*. BEUMER Maschinenfabrik GmbH & Co. KG.
- [6] Kadam, Amol J. dan Deshpande, Dr. Shailesh V. 2015. *Design and Analysis of conveyor chain link using composite material*. India : Department of Mechanical Engineering, VVPIET.
- [7] Anselmo, Clay. 2012. *Failure Investigation and Root Cause Analysis*. Reglra Presentation.
- [8] Bhoite T., Pawar p., dan Gaikwad B. 2012. *FEM Based Study of Effect of Radial Variation of Outer Link in A Typical Roller Chain Link Assembly*. India : International Journal of Mechanical Engineering and Industrial Engineering (IJMIE).
- [9] Kerremans dkk. 2011. *Wear of conveyor chain with polymer roller, in sustainable construction and design*.
- [10] Jagtap M.D., Gaikwad B.D., Pawar P.M. 2014. *Study of roller conveyor chain strip under tensile loading*. India : Associate Professor, Department of Mechanical Engineering, Pandharpur, Solapur University.
- [11] ASM International. 2005. *Properties and Selection: Irons, Steels, and High Performance Alloys*. USA : ASM International Handbook Committee.

- [12] Isakov, Dr.Edmund. 2009. *Cutting Data for Turning of Steel*. USA : Industrial Press Inc. 989 Avenue of the Americas.
- [13] Brooks, Charlie R. 1996. *Principles of The Heat Treatment of Plain Carbon and Low Alloy Steels*. USA : ASM International, Materials Park.
- [14] Callister, William D. 2007. *Material Science and Engineering 7th*. USA : John Wiley & Sons, Inc.
- [15] Johnson, Alan A. dan Storey, Randall J. *The Effect of Carbon on the Charpy V-Notch Ductile-Brittle Transition Curve*. USA : Metals Research Inc., Kentucky.
- [16] Joewono, Ari. *Conveyor (Conveying Equipment)*. Indonesia : Jurusan Teknik Mesin FTI Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- [17] Matweb. 2015. *AISI 1524 Steel, Hot Rolled Bar (UNS G15240)*. USA:<http://www.matweb.com/search/datasheet.aspx?MatG UID=732f8f7cab1d4a768b15791f3bfc834e>
- [18] Shemenski,R.M. 1974. *Fractography of Steel Drive Cables*. USA : ASM Handbook of Failure Analysis.
- [19] Timken. 2009. *Practical Data for Metalurgists*. USA : The Timken Company.

BIODATA PENULIS



Sebastianus Dwi Danuputro,

dilahirkan di Jakarta 2 Januari 1992. Merupakan anak kedua dari pasangan Stephanus Nugroho Kristono dan L.M. Endang Bandarawati. Penulis mengenyam pendidikan dasar dan menengah di SD Strada Bhakti Wiyata II, SMP Vincentius dan SMA Gonzaga, Jakarta.

Pada tahun 2010, penulis melanjutkan pendidikan tingginya di Jurusan Teknik Mesin FTI ITS, dengan mengambil bidang studi Sistem Manufaktur. Selama menjadi mahasiswa, penulis memiliki pengalaman kerja praktek di PT. Dirgantara Indonesia dan PT. GMF AeroAsia, sebelum akhirnya melakukan penelitian tugas akhir di PT. Semen Gresik.

Penulis aktif dalam kegiatan kemahasiswaan dengan menjadi Staf Pengembangan Sumber Daya Mahasiswa HMM 2011-2012, Sekretaris Umum HMM 2012-2013, dan *External Relation & Sponsorship* ITS Team Sapuangin 2013-2014. Penulis pernah tergabung dalam 16 kali kepanitiaan kegiatan di tingkat jurusan, fakultas, dan institut. Penulis juga mengikuti berbagai pelatihan manajemen diri, kegiatan, dan organisasi. Selain itu, penulis juga menjadi asisten untuk Praktikum Dinamika Teknik dan Mekanika Getaran, serta dipercaya menjadi koordinator dari Laboratorium Sistem Manufaktur Teknik Mesin ITS.

Berbagai prestasi pernah diraih oleh penulis antara lain “Peningkatan Prestasi Akademik Terbaik ke-1 Semester Gasal 2013-2014 Jurusan Teknik Mesin”, “Juara 1 Nasional Indonesia Energy Marathon Challenge 2013 Kategori Prototype Diesel”, dan tergabung dalam kontingen “ITS Team Sapuangin for Student Formula Japan 2014” di tingkat internasional.

